

VŠB – Technická univerzita Ostrava

Fakulta strojní

Institut Dopravy

Vibrační dehydrátor

Vibrating Dehydrator

Student:

Vedoucí diplomové práce:

Bc. Adam Tvrz

doc. Ing. Jan Nečas, Ph.D.

Ostrava 2019

Zadání diplomové práce

Student: **Bc. Adam Tvrz**
Studijní program: **N2301 Strojní inženýrství**
Studijní obor: **3909T001 Konstrukční a procesní inženýrství**
Specializace: **35 Dopravní stroje a manipulace s materiálem**
Téma: **Vibrační dehydrátor**
Vibrating Dehydrator
Jazyk vypracování: **čeština**

Zásady pro vypracování:

Navrhněte vibrační zařízení pro odvodnění černého uhlí zrnitosti 0 – 1 mm. Zařízení musí umožňovat odvodnit min. 40 t/hod. Vstupní materiál je směs černého uhlí a vody. Zahuštění vstupní suspenze je 200-300 g/l. Velikost zrn vstupního materiálu je 0-1 mm.

V rámci řešení proveďte:

- 1) Rešerši vibračních strojů pro třídění a odvodnění.
- 2) Návrh stroje vč. pohonu a uložení.
- 3) Proveďte potřebné technologické výpočty.
- 4) Proveďte potřebné konstrukční výpočty.
- 5) Konstrukční řešení zařízení.

Seznam doporučené odborné literatury:

Zegzulka, J.: Mechanika sypkých hmot, Laboratoř sypkých hmot, VŠB-TUO, 2004.
Jasaň, V.: Teória a stavba dopravníkov, TU Košice, Alfa Bratislava, 1984.
Pešat, Z.: Manipulace v hutích. VŠB – TU Ostrava, 1992.
Fiala, J.: Strojnické tabulky. SNTL Praha, 1989.
Firemní literatura a potřebné normy.
Polák, J., Pavliska, J., Slíva, A.: Dopravní a manipulační zařízení I. Ostrava: ES VŠB-TUO, 2001.

Formální náležitosti a rozsah diplomové práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

Vedoucí diplomové práce: **doc. Ing. Jan Nečas, Ph.D.**

Datum zadání: 21.12.2018

Datum odevzdání: 20.05.2019

doc. Ing. Aleš Slíva, Ph.D.
vedoucí katedry



prof. Ing. Ivo Hlavatý, Ph.D.
děkan fakulty

Místopřísežné prohlášení studenta

Prohlašuji, že jsem celou diplomovou práci včetně příloh vypracoval samostatně pod vedením vedoucího diplomové práce a uvedl jsem všechny použité podklady a literaturu.

V Ostravě.....

.....

Podpis studenta

Prohlašuji, že

- jsem byl seznámen s tím, že na moji diplomovou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. – autorský zákon, zejména §35 – užití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a užití díla školního a §60 – školní dílo.
- беру на вѣдомі, же Высoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava (dále jen VŠBTUO) má právo nevýdělečně ke své vnitřní potřebě diplomovou práci užít (§35 odst. 3).
- souhlasím s tím, že jeden výtisk diplomové práce bude uložen v Ústřední knihovně VŠB-TUO k prezenčnímu nahlédnutí a jeden výtisk bude uložen u vedoucího diplomové práce. Souhlasím s tím, že údaje o diplomové práci budou zveřejněny v informačním systému VŠB-TUO.
- bylo sjednáno, že s VŠB-TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu §12 odst. 4 autorského zákona.
- bylo sjednáno, že užít své dílo – diplomovou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem VŠB-TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB-TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše).
- беру на вѣдомі, же odevzdáním své práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, bez ohledu na výsledek její obhajoby.

V Ostravě:

.....
Podpis studenta

ANOTACE DIPLOMOVÉ PRÁCE

Bc. Tvrz, A. *Vibrační dehydrátor: Diplomová práce*. Ostrava: VŠB – Technická univerzita Ostrava, Fakulta strojní, Institut dopravy, 2019, 67 s.
Vedoucí práce: doc. Ing. Nečas J., Ph.D.

Diplomová práce se zabývá návrhem konstrukčního řešení vibračního dehydrátoru v oblasti třídění černého uhlí. Úvodní kapitola obsahuje základní rozdělení vibračních třídíčů a jejich popis fungování. V následujících kapitolách se navrhuje šterbinové síto a jeho třídící plocha. Toto řešení má přínos ve zvětšení třídící plochy a tím zvyšuje efektivitu v odvodňování. Výpočtová část obsahuje návrh vibračního pohonu stroje a jeho uložení. Součástí diplomové práce je i výkresová dokumentace.

Klíčová slova: vibrační dehydrátor, vibrační třídíč, šterbinové síto, odvodňování

ANNOTATION OF MASTER THESIS

Bc. Tvrz, A. *Vibrating Dehydrator: Master Thesis*. Ostrava: VŠB – Technical University of Ostrava, Faculty of Mechanical Engineering, Institute of Transport, 2019, 67 s.
Thesis head: doc. Ing. Nečas J., Ph.D.

Master thesis deals with the suggestion of the design solution of the vibrating dehydrator in the area of sorting black coal. The introductory chapter contains the basic dividing of the vibrating screens and the description of their running. A slotted wedge wire screen and a sorting area are introduced and described in the following chapters. The solution that is introduced has the benefit of increasing the sorting area and thus greater efficiency in dewatering. The computation part contains the suggestion of the vibration propulsion of the machine and its saving. The master thesis also includes the drawing documentation.

Keywords: vibrating dehydrator, vibrating screen, slotted wedge wire screen, dewatering

Poděkování

Rád bych poděkoval vedoucímu mé diplomové práce doc. Ing. Janu Nečasovi, Ph.D. a Ing. Petru Dospivovi, Ph.D. za poskytnutí cenných a odborných rad, které pro mne byly při vykonávání diplomové práce velkým přínosem. Dále bych jim chtěl poděkovat za ochotu a vstřícný přístup během zpracování této práce. V neposlední řadě bych chtěl poděkovat všem učitelům, kteří mi byli ochotni poskytnou rady.

Obsah

PODĚKOVÁNÍ.....	6
SEZNAM POUŽITÝCH ZNAČEK A SYMBOLŮ	9
ÚVOD	12
1 ANALÝZA TYPŮ TŘÍDICÍCH A ODVODŇOVACÍCH STROJŮ	13
2 ZÁKLADNÍ ROZDĚLENÍ.....	14
2.1 SUCHÉ TŘÍDĚNÍ	14
2.2 MOKRÉ TŘÍDĚNÍ	14
2.3 SUCHÉ I MOKRÉ TŘÍDĚNÍ	14
2.4 JEDNOPLOŠNÉ A VÍCEPLOŠNÉ TŘÍDĚNÍ	15
2.5 LINEÁRNÍ POHYB	15
2.6 ELIPTICKÝ POHYB.....	15
2.7 KRUHOVÝ POHYB.....	15
2.8 STŘÍDAVÝ POHYB.....	15
3 JEDNOTLIVÉ ROZDĚLENÍ STROJŮ.....	16
3.1 HRUBOTŘÍDIČE VGO	16
3.2 HRUBOTŘÍDIČE SCALPER	17
3.3 TŘÍDIČ FLIP-FLOP	18
3.4 ODVODŇOVACÍ TŘÍDIČE	19
3.5 PODVODNÍ TŘÍDIČ	20
3.6 TŘÍDIČE VTK.....	21
3.7 TŘÍDIČE VTE	22
3.8 TŘÍDIČE VTS	23
3.9 VIBRAČNÍ TŘÍDIČ S PŘÍMOČARÝM POHYBEM	24
3.10 SEPARÁTOR TĚŽKÝCH PEVNÝCH ČÁSTIC A ROZDRUŽOVAČ KAMENE.....	25
3.11 TŘÍDIČ SIZER	26
3.13 BANANA TŘÍDIČ	27
3.14 IFE-SORT	28
4 CÍLE PRÁCE	29

5	METODIKA ŘEŠENÍ	32
5.1	ZRNITOSTNÍ ROZBOR	32
5.2	VÝBĚR TŘÍDICÍ PLOCHY	33
5.3	VOLNÁ TŘÍDICÍ PLOCHA	34
5.4	POJISTNÉ KLÍNY	35
5.5	VYŠETŘENÍ TŘÍDICÍ PLOCHY	36
6	VÝPOČET TECHNOLOGICKÝCH PARAMETRŮ DEHYDRÁTORU	38
6.1	VOLBA FREKVENCE KMITÁNÍ	38
6.2	VOLBA ÚHLU A VÝPOČET AMPLITUDY KMITÁNÍ	39
6.3	PODMÍNKA DOPRAVY MIKROVRHEM	40
6.4	PODMÍNKA DOPRAVY MIKROVRHEM VE SKLONU	40
6.5	VÝPOČET POSTUPOVÉ RYCHLOSTI	40
6.6	POSTUPOVÁ RYCHLOST PODLE DIETRYCHA:	45
6.7	SROVNÁNÍ POSTUPOVÝCH RYCHLOSTÍ	45
6.8	URČENÍ VÝŠKY DOPRAVOVANÉHO MATERIÁLU	46
7	ULOŽENÍ VIBROMOTORŮ	47
8	VOLBA VIBROMOTORŮ	49
9	VOLBA PRUŽIN	51
10	MODÁLNÍ ANALÝZA VLASTNÍ FREKVENCE	55
11	PŘÍVOD MATERIÁLU A JEHO TŘÍDĚNÍ	57
12	VIZUALIZACE	58
13	ZÁVĚR	61
14	SEZNAM ZDROJŮ A LITERATURY	63
	SEZNAM OBRÁZKŮ	65
	SEZNAM TABULEK	66
	SEZNAM POUŽITÝCH PROGRAMŮ	67
	SEZNAM PŘÍLOH	67

Seznam použitých značek a symbolů

3D	Trojrozměrná (grafika, zobrazení)	
a	Amplituda	[m]
A	Šířka pracovního drátu	[m]
b	Šířka třídící plochy	[m]
d	Průměr drátu pružiny	[m]
D	Střední průměr pružiny	[m]
D _e	Vnější průměr pružiny	[m]
D _i	Vnitřní průměr pružiny	[m]
f	Vlastní frekvence budiče kmitu	[Hz]
F	Celkový potřebný tah vibromotoru	[N]
f [*]	Vlastní frekvence žlabu	[Hz]
F'	Potřebná odstředivá síla jednoho vibromotoru	[N]
F' ₀	Odstředivá síla vibromotoru	[N]
F _{0tp}	Volná plocha	[%]
F _c	Celkové zatížení pružiny	[N]
F _{dyn}	Dynamické zatížení pružiny	[N]
F _n	Maximální zatěžující síla pro pružiny	[N]
F _s	Statické zatížení pružiny	[N]
g	Tíhové zrychlení	[m·s ⁻²]
h ₁	Svislá vzdálenost bodu LH vrhové paraboly	[m]
k	Skutečná tuhost jedné pružiny	[N·m ⁻¹]
K	Skutečná celková tuhost pružin	[N·m ⁻¹]
k'	Předběžná tuhost jedné pružiny	[N·m ⁻¹]
K'	Předběžná celková tuhost pružin	[N·m ⁻¹]
K _v	Technologický součinitel	[-]
l	Vodorovná délka třídící plochy	[m]
l _a	Délka aktuální třídící plochy	[m]
l _{n1}	Délka nové šikmé třídící plochy varianty č. 1	[m]
l _{n2}	Délka nové šikmé třídící plochy varianty č. 2	[m]
L ₀	Volná délka pružiny	[m]
L _n	Délka pružiny v maximálním zatížení	[m]
m _{budiče}	Hmotnost budiče kmitů	[kg]

m_c	Celková hmotnost	[kg]
m_e	Ekvivalentní hmotnost	[kg]
m_{m1}	Celková hmotnost suspenze varianty č. 1	[kg]
m_{m2}	Celková hmotnost suspenze varianty č. 2	[kg]
$m_{materialu}$	Celková hmotnost materiálu na ploše	[kg]
m_{ramu}	Hmotnost rámu konstrukce	[kg]
m_{sus}	Hmotnost suspenze	[kg]
n	Počet otáček	[s ⁻¹]
n_p	Počet pružin	[-]
o	Počet kmitů žlabu připadající na 1 skok zrna	[-]
p	Délka poskoku	[m]
$P_{uhlí}$	Procentuální vyjádření uhlí v suspenzi	[%]
P_{vody}	Procentuální vyjádření vody v suspenzi	[%]
Q	Dopravované množství	[t·h ⁻¹]
S	Šířka štěrbin	[m]
S_{ak}	Obsah aktuální velikost plochy	[m ²]
S_{n1}	Obsah nové třídící plochy varianty č. 1	[m ²]
S_{n2}	Obsah nové třídící plochy varianty č. 2	[m ²]
S_{p1}	Obsah připojené plochy varianty č. 1	[m ²]
S_{p2}	Obsah připojené plochy varianty č. 2	[m ²]
t_B	Čas dopadu zrna do bodu B	[s]
t_c	Čas letu zrna z bodu L do bodu C	[s]
t_h	Čas letu zrna z bodu L do bodu H	[s]
t_L	Čas dosažení bodu L	[s]
t_v	Poměrná doba vrhu	[s]
v	Postupová rychlost	[m·s ⁻¹]
v'	Postupová rychlost graficko-početní metody	[m·s ⁻¹]
v''	Postupová rychlost početní metodou podle Dietrycha	[m·s ⁻¹]
V_a	Výška trojúhelníku	[m]
v_L	Počáteční rychlost vrhu	[m·s ⁻¹]
V_{p1}	Objem varianty č. 1	[m ³]
V_{p2}	Objem varianty č. 2	[m ³]
x	Délka stlačení pružiny při maximálním zatížení	[m]
x_B	Vodorovná vzdálenost od střední polohy kmitání po bod B	[m]
x_c	Vodorovná vzdálenost bodu LC vrhové paraboly	[m]

x_H	Výška vrhu	[m]
x_L	Vzdálenost bodu L od střední polohy kmitání	[m]
z	Koeficient naladění žlabu	[–]
Z_{tp1}	Procentuální zvětšení varianty č. 1	[%]
Z_{tp2}	Procentuální zvětšení varianty č. 2	[%]
β	Úhel vrhu	[°]
ε	Úhel sklonu třídící plochy	[°]
π	Ludolfovo číslo	[–]
ρ_s	Sypná hmotnost	[kg·m ⁻³]
ρ_{su}	Sypná hmotnost uhlí	[kg·m ⁻³]
ρ_{sv}	Měrná hmotnost vody	[kg·m ⁻³]
φ_c	Úhel natočení nevývažků v bodě C	[rad]
φ_h	Úhel natočení nevývažků v bodě H	[rad]
φ_L	Úhel natočení nevývažků v bodě L	[rad]
ψ	Koeficient rozvolnění materiálu	[–]
ω	Úhlová rychlost otáčení nevývažků budiče	[s ⁻¹]
Ω_0	Vlastní frekvence žlabu	[s ⁻¹]

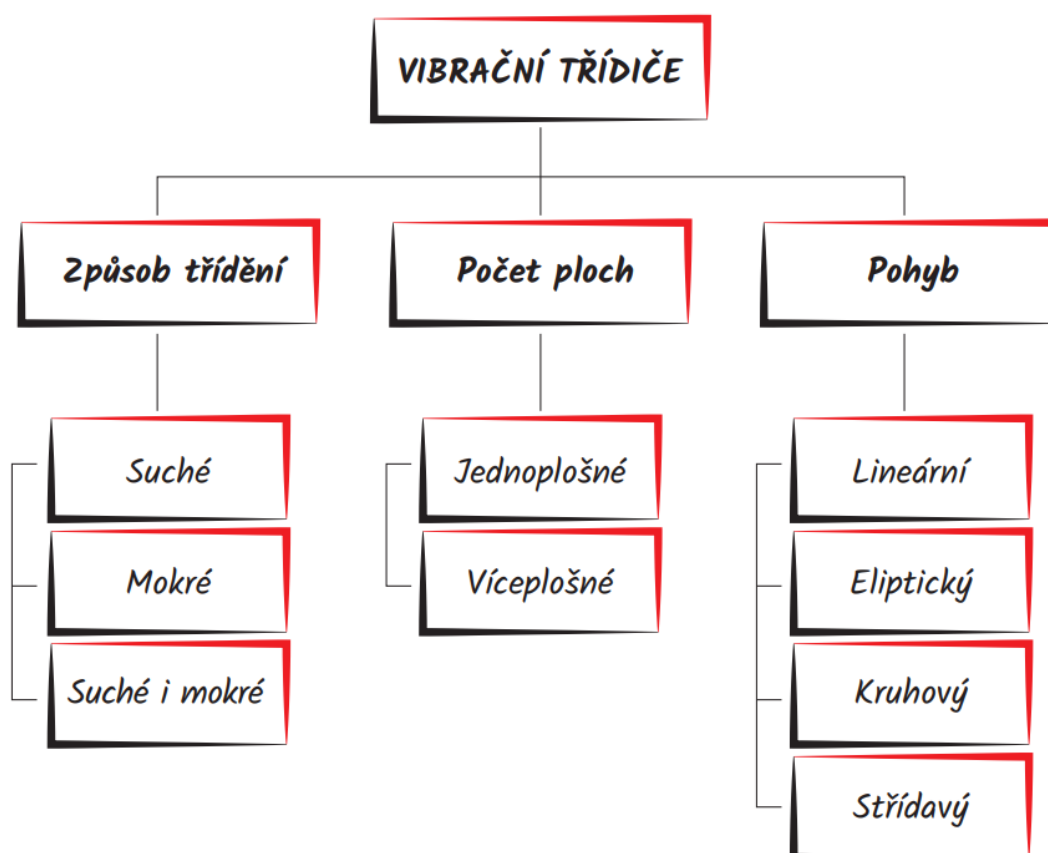
Úvod

Moje diplomová práce se zabývá návrhem vibračního dehydrátoru. Téma své diplomové práce jsem si zvolil na základě jedinečné příležitosti spolupracovat s firmou RPS Ostrava a.s. Při prvním seznámením s tématem jsem si povšimnul nevyužitého prostoru vibračního třídíče a tím také možné zefektivnění třídící plochy a s tím související lepší odvodňování.

Černé uhlí se používá jako palivo pro tepelné elektrárny a cílem úpraven je z daného uhlí separovat co největší množství nečistot, jako jsou např.: kameny, hlína, prach a další. V úpravně se uhlí drtí na požadovanou velikost (úhelný prach) a separuje se od nečistot. Úpravny bývají zřízeny poblíž elektráren popřípadě, je uhlí distribuováno železniční komunikací.

Navržený vibrační dehydrátor může vhodně nahradit stávající dehydrátor. Pro případnou výměnu, nejsou nutné žádné stavební úpravy nosné ocelové konstrukce a technologického zařízení pro přísun surovin na dehydrátor a odsun odvodněného materiálu. Nově je nutno vybudovat výlevku pod dehydrátor pro odsun odseparované kapaliny. Realizací výměny dosáhneme při stejné energetické náročnosti zvýšení výkonu technologické linky a zvýšení její provozní spolehlivosti.

1 Analýza typů třídících a odvodňovacích strojů



Obr. č. 1.1 Analýza typů třídících a odvodňovacích strojů

2 Základní rozdělení

V této kapitole bych Vás chtěl seznámit s vibračními třídíči a jejich základním rozdělením. Jak již z analýzy vibračních třídíčů vyplývá, budou zde tři kategorie. Způsobů rozdělení je mnoho, vybral jsem právě tyto tři (podle způsobu třídění, počtu ploch a pohybu), jelikož je považuji za nejvíc podstatné. Mezi další způsoby by se daly zařadit: rychlost postupu materiálů, počet vibromotorů, způsoby buzení vibrací, třídící množství, velikost zrn, případně v rámci mokrého třídění efektivitu odvodnění nebo úhel naklonění třídících rovin. Způsob pohybu třídící plochy a celé konstrukce závisí na uložení a počtu vibračních budičů kmitu.

2.1 Suché třídění

Tento typ třídění se používá pro zrna, která jsou tvořena z nelepivých materiálů. Využívá se především k finálnímu třídění zrnitého kusového materiálu jako např.: uhlí, písku, šterku nebo taky materiálu, který má horší tvarovou hodnotu a má sklon ke klínování. Podmínkou tedy je, že tříděný materiál nesmí být za sucha lepkavý a nesmí obsahovat příměsi, které mají lepkavý charakter. Pro suché třídění se používají dva typy sít, a to šterbinová nebo polyuretanová.

2.2 Mokré třídění

Mokré třídění je realizováno za pomoci promývání, či sprchování zrnitých nelepivých materiálů, nebo bývá dodáván v suspenzi s vodou. Tímto způsobem nám voda usnadňuje způsob třídění a odvod malých frakcí. Materiál se poté stává sypkým a bývá přepravován standartními prostředky. Mokré třídění je vhodné pro finální separaci zrnitých kusových materiálů, které mají vyšší obsah hlinitých a prachových podílů, jako uhlí, šterk, písek atd. Z ekonomického hlediska jsou polyuretanová síta nejvýhodnější. Hlavní nevýhodou polyuretanových sít spočívá v tom, že kladou vysoké nároky na šířku třídící plochy.

2.3 Suché i mokré třídění

Tyto vibrační třídíče jsou navrženy tak, aby byly schopné operovat, jak se suchým, tak i mokrým materiálem. Součástí konstrukce bývá potrubí pro přívod vody a výlevka, která slouží pro odvedení odseparované kapaliny.

2.4 Jednoplošné a víceplošné třídění

Množství třídících ploch ovlivňuje způsob a přesnost třídění. Jednoplošné třídění se používá pro jemnější frakci, kde se klade důraz na větší ostrost třídění nebo pro odvodňování. Víceplošné třídiče mají až sedm třídících ploch. Třídění je prováděno převážně za sucha, ale pro menší počet ploch i za mokra. Hlavní výhodou víceplošného třídění je, že daný stroj nám rozdělí vstupní materiál až na sedm frakcí oproti jednoplošnému třídění, kde po přetřídění máme pouze dvě rozdílné skupiny frakcí.

2.5 Lineární pohyb

S přímočarým pohybem se můžeme setkat v případě, kdy máme použité dva budiče, které jsou od sebe otočeny o 180° . Vibrační budiče se za chodu synchronizují a tím tvoří přímočarý pohyb konstrukce kolmo na plochu, na kterou jsou tyto budiče umístěny. Budiče vibrací bývají uloženy v těžišti stroje pro dosažení přímočarého pohybu.

2.6 Eliptický pohyb

Eliptický pohyb je realizován uložením vibromotorů nad těžištěm stroje. Toto má pak za následek nerovnoměrné zatížení pružin, na kterých je umístěná konstrukce vibračního stroje.

2.7 Kruhový pohyb

Kruhový pohyb je velice podobný přímočarému způsobu uložení vibromotorů. Je zde použit pouze jeden vibromotor, popřípadě dva, které jsou stejně orientované a jejich odstředivé síly se sčítají. Uložení se taktéž nachází v těžišti stroje.

2.8 Střídavý pohyb

Střídavého pohybu lze docílit v rámci připojení vibračních motorů k frekvenčním měničům nebo změnou amplitudy nevývažků vibromotorů.

3 Jednotlivé rozdělení strojů

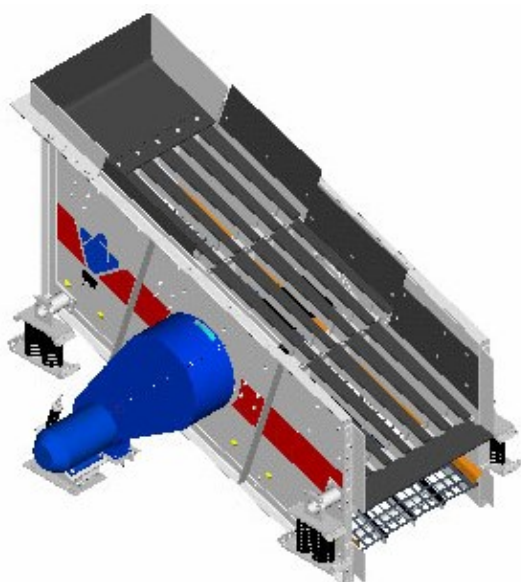
V této kapitole bych Vás chtěl seznámit s konkrétními typy vibračních třídíčů, které nabývají již zmíněných vlastností.

3.1 Hrubotřídíče VGO

Hrubotřídíče VGO jsou vyráběny pro odhlinění vytěženého vstupního materiálu přímo do technologické linky, kde je velikost zrn až 1 m. Hrubotřídíče mohou mít několik třídících ploch. Vrchní plocha je osazena třídící šterbinou do maximální možné velikosti 150 mm. Spodní plochu lze osadit šterbinovými sítí o velikosti ok 35–63 mm. Třízeným materiálem může být uhlí, kamenivo, rudy, šterkopísek a další. [1]

Třídíče VGO se vyznačují mnoha přednostmi:

- Odolností proti klínování a zalepování tříděného materiálu v sítích
- Jednoduchou výměnou třídících ploch
- Kaskádovou konstrukcí umožňuje efektivnější roztrídění jemných frakcí v horní ploše
- Minimální provozní náklady díky vyvážené konstrukce třídíče



Obr. č. 3.1 3D model Hrubotřídíče VGO [1]



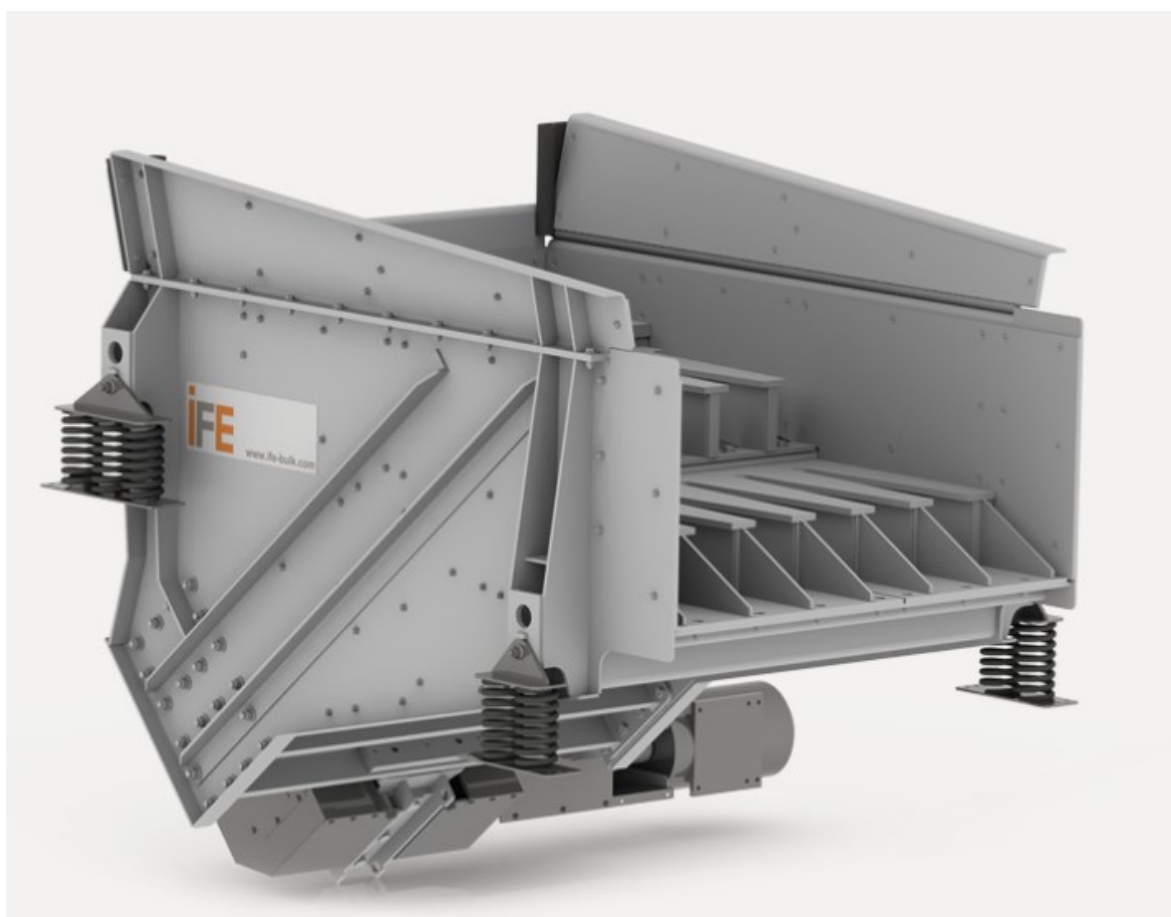
Obr. č. 3.2 Detail Hrubotřídíče VGO [1]

3.2 Hrubotřídiče Scalper

Jedná se o robustní konstrukci, která slouží k efektivnímu třídění a před-třídění. Jsou vyráběny z tuhé konstrukce a doplněny nevývažkovými motory, případně budícími nevývažkovými jednotkami. Tento typ třídiče je vhodný pro lepivý, hrubý a těžký materiál. [2]

Přednostmi tohoto třídiče jsou:

- Efektivní rychlost dávkování
- Odolná konstrukce
- Přizpůsobitelnost a variabilnost
- Vysoká provozní spolehlivost
- Odolnost roštů proti opotřebení tříděným materiálem



Obr. č. 3.3 3D model Hrubotřídiče Scalper [2]

3.3 Třídič flip-flop

Vhodný pro obtížně třiditelný materiál. Třídič má dvě třídící plochy, které rozdělují materiál na celkem tři rozdílné frakce. [3]

Mezi jeho výhody lze zařadit:

- Vysokou rychlost posuvu díky sklonu třídiče
- Kmitání ve třech osách
- Vysokou spolehlivost
- Nízké nároky na údržbu
- Minimalizované dynamické zatížení
- Vysokou odolnost vůči zanášení sít



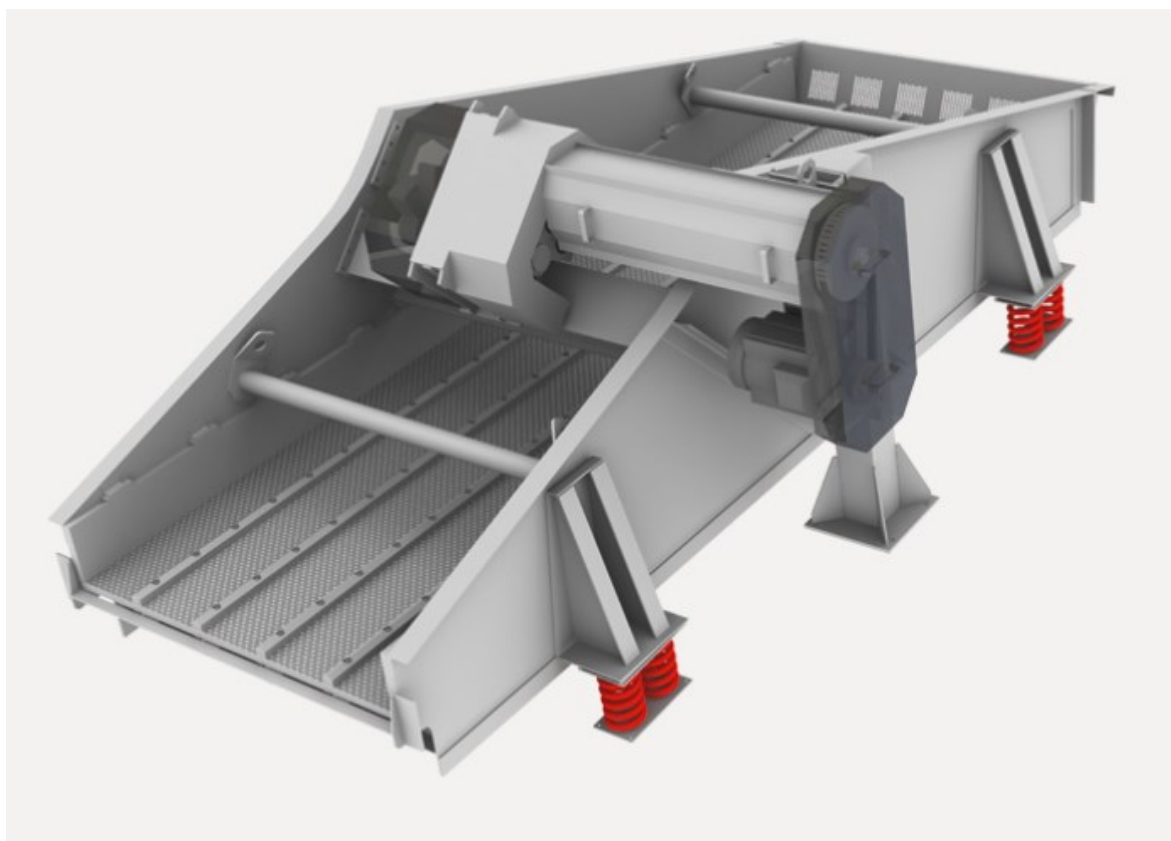
Obr. č. 3.4 3D model třídiče flip-flop [3]

3.4 Odvodňovací třídiče

Jak již bylo zmíněno, tyto třídiče odvodňují materiál a kaly přes šterbinová síta. Výsledkem bývá sypký materiál případně materiál, který se pak dále suší. Konstrukce bývá buďto svařená nebo šroubovaná. Úhel sklonu se nastavuje v rozmezí 3–5° proto, aby třídič měl dostatek času na odvodnění. [4]

Výhody:

- Relativně vysoká rychlost posuvu
- Minimální vlhkost materiálu na konci třídiče
- Ochrana proti korozi a opotřebení
- Vysoká spolehlivost



Obr. č. 3.5 3D model odvodňovacího třídiče [4]

3.5 Podvodní třídič

Speciální třídič pro třídění za mokra. Podvodní třídič je určený pro práci ve vodní nádrži a bývá doplněn nevývažkovým budícím pohonem. Část třídiče je ponořena a za pomoci proudění vody se hodí pro třídění jemné zrnitosti. [5]

Výhody:

- Vysoká rychlost posuvu
- Vysoká účinnost třídění
- Vysoký výkon
- Minimální spotřeba vody
- Minimální zanesení třídících sít



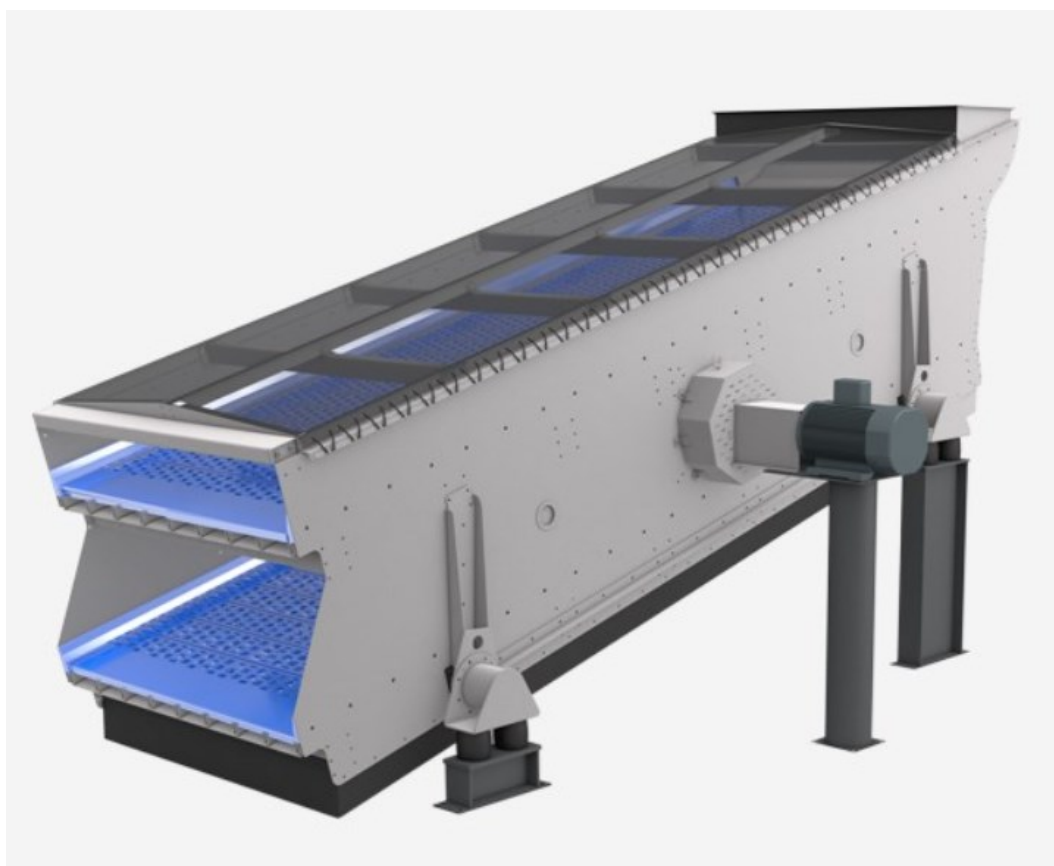
Obr. č. 3.6 3D model podvodního třídiče [5]

3.6 Třídíče VTK

Třídíče VTK jsou charakterizovány kruhovým pohybem, který je vybuzen nevývažkovým budičem. Budič se umísťuje do těžiště stroje. Podle požadavků na třídění lze tyto stroje vyrábět s jednou až čtyřmi třídícími plochami. Třídící plochy mohou být vyrobeny z pryže, plastu či ocele. Vstupní zrnitost materiálu nabývá hodnot od 0–250 mm a třídící oka hodnot 2–200 mm. [6]

Mezi výhody patří:

- Ostrost třídění
- Vysoký výkon
- Odolnost vůči ucpávání a klínování sít
- Minimální provozní náklady
- Snadná výměna třídících sít
- Snadná vizuální kontrola
- Ochrana proti prašnosti za pomoci krytí
- Vysoká kvalita s vysokou efektivitou a hospodárností



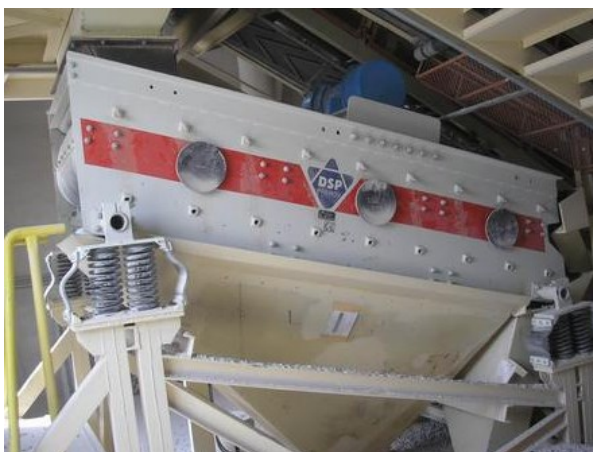
Obr. č. 3.7 3D model třídíče VTK [7]

3.7 Třídíče VTE

Třídíče VTE jsou charakterizovány neúměrným eliptickým pohybem. Tento pohyb je vybuzen vibromotorem. U těchto třídíčů se motor umísťuje nad těžiště stroje. Podobně jak u třídíčů VTK, se používají třídící plochy z plastu, pryže či oceli, a to s jednou až třemi třídícími plochami. Vstupní zrnitost materiálu nabývá hodnot 0–200 mm a třídící oka hodnot 2–63 mm. [8]

Mezi výhody patří:

- Odolnost vůči ucpávání a klínování sít
- Minimální provozní náklady
- Snadná výměna třídících sít
- Snadná vizuální kontrola
- Vysoká kvalita s vysokou efektivitou a hospodárností



Obr. č. 3.8 Třídíč VTE [8]



Obr. č. 3.9 Třídíč VTE zavěšený [8]

3.8 Třídíče VTS

Třídíče VTS jsou poháněny dvěma přiloženými vibromotory, které jsou umístěny na bočnicích třídíče. Změnu vibrací lze nastavit pomocí amplitudy nevývažků vibromotorů. Podobně jako u třídíčů VTS jsou konstruovány s jednou až třemi třídícími plochami. Vstupní zrnitost materiálu nabývá hodnot 0–250 mm a třídící oka hodnot 2–63 mm. [9]

Mezi výhody patří:

- Odolnost vůči ucpávání a klínování sít
- Minimální provozní náklady
- Snadná výměna třídících sít
- Snadná vizuální kontrola
- Vysoká kvalita s vysokou efektivitou a hospodárností



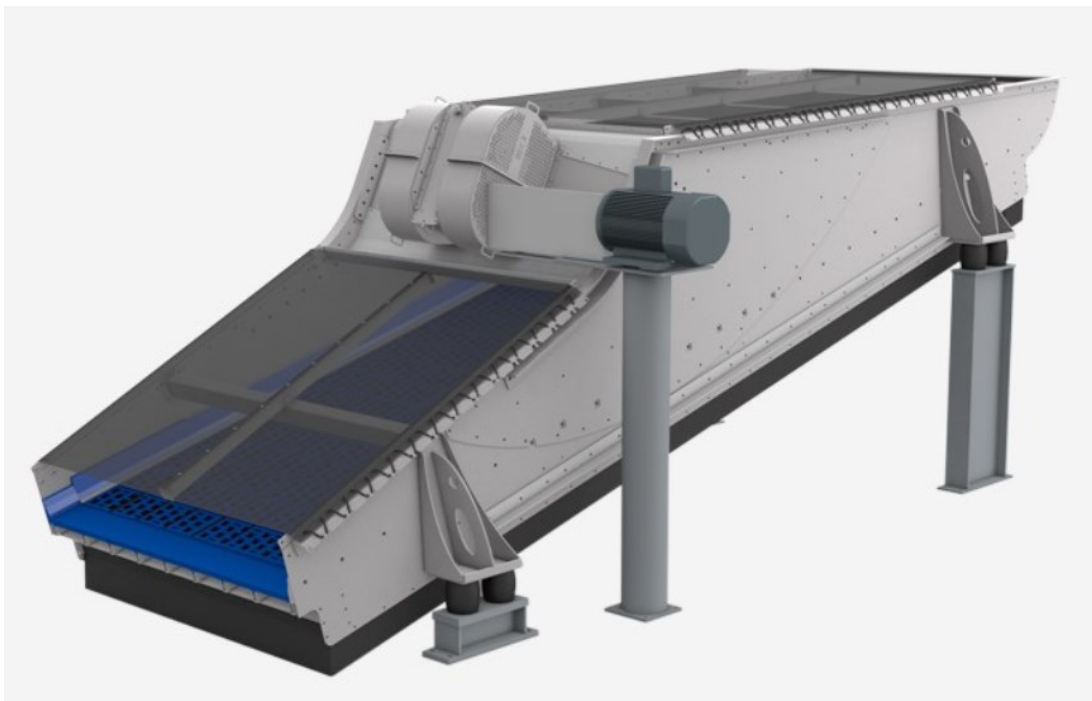
Obr. č. 3.10 Třídíč VTS [9]

3.9 Vibrační třídič s přímočarým pohybem

Lineární neboli přímočaré vibrační třídiče jsou používány pro třídění jakéhokoliv sypkého materiálu. Rámová konstrukce bývá buďto svařovaná, nebo šroubovaná. Vibrační třídiče mohou být poháněny jedním nebo více vibromotory. Třídící plocha může být vybavena různými síty dostupnými na trhu. [10]

Mezi výhody patří:

- Vysoká rychlost třídění
- Odolnost konstrukce
- Vysoká spolehlivost
- Variabilnost



Obr. č. 3.11 Třídič s přímočarým pohybem [11]

3.10 Separátor těžkých pevných částic a rozdružovač kamene

Používá se pro roztrídění, případně vyčištění požadované látky. Díky vlastní kinetické energii těžké hranaté části padají směrem dolů, a lehké ploché částice jsou díky vibracím dopravovány směrem nahoru po třídících deskách. Tento stroj můžeme hledat ideálně v recyklačním průmyslu, jako například recyklace šrotu, stavebního odpadu, biomasy a skla. [12]

Mezi výhody patří:

- Jednoduché nastavení třídících desek
- Jednoduchá údržba
- Nízké opotřebení
- Malá spotřeba elektrické energie



Obr. č. 3.12 3D model separátoru těžkých pevných částic a rozdružovače kamene [12]

3.11 Třídič Sizer

Tento třídič má až pět třídících ploch, které jsou umístěny nad sebou. Každá třídící plocha je pod mírným sklonem směřující nahoru. Tento třídič bývá poháněn nevývažkovým budičem nebo nevývažkovým motorem. [13]

Mezi výhody patří:

- Vysoká rychlost třídění
- Nedochází téměř k žádnému ucpávání
- Všestrannost
- Konstrukce ze speciálních materiálů
- Nízká hmotnost



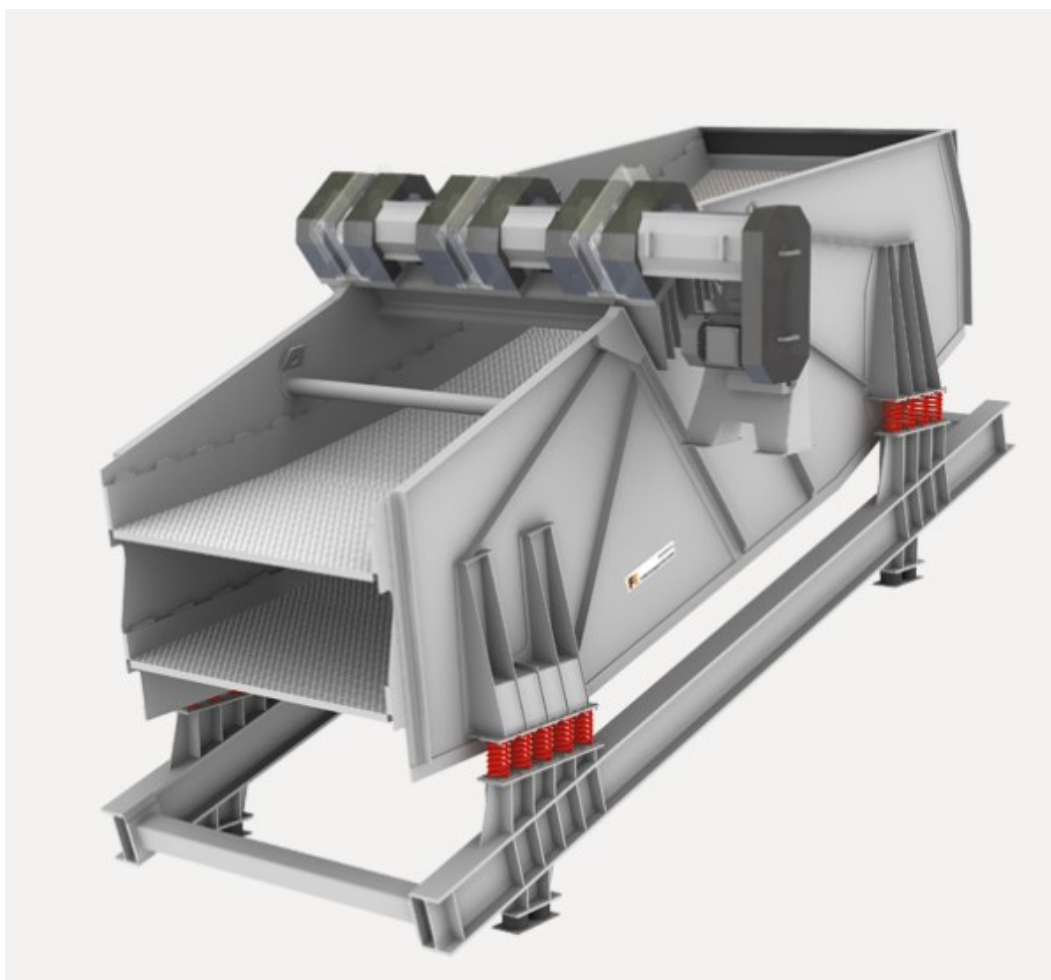
Obr. č. 3.13 3D model vibračního třídiče Sizer [13]

3.13 Banana třídič

Banana třídič zvládne třídít dvojnásobek až trojnásobek vstupního materiálu oproti dnešním konvenčním třídičům. Jeho uplatnění je ideálně tam, kde je vysoký nárok na rychlost posuvu. Používá se k třídění materiálu, který má vysoký obsah jemné frakce. [14]

Mezi výhody patří:

- Vysoká rychlost třídění
- Dvojnásobná až trojnásobná rychlost oproti konvenčním třídičům
- vhodnost pro materiál o jemné frakci
- Odolnost konstrukce
- Jednoplášňová nebo dvojplošňová varianta
- šroubovaná a lepená konstrukce



Obr. č. 3.14 3D model vibračního třídiče Banana [14]

3.14 IFE-SORT

Třidič IFE-SORT je třídícím jemných pevných částic. Princip třídění je založen na hustotě tříděného materiálu s využitím fluidní technologie. Pomocí kombinace fluidní technologie a vibrací je zajištěno ideální prostředí pro třídění. Těžké částice jsou vlivem vibrací dopravovány směrem vzhůru proti působení gravitační složky. Oproti tomu jsou lehké částice zadržovány v tzv. vzduchovém polštáři a poté kloužou směrem dolů. Tento přístroj lze využít v zemědělském, potravinářském, dřevařském a recyklačním průmyslu ke zpracovávání nerostných surovin, nebo také v hornictví. [15]

Mezi výhody patří:

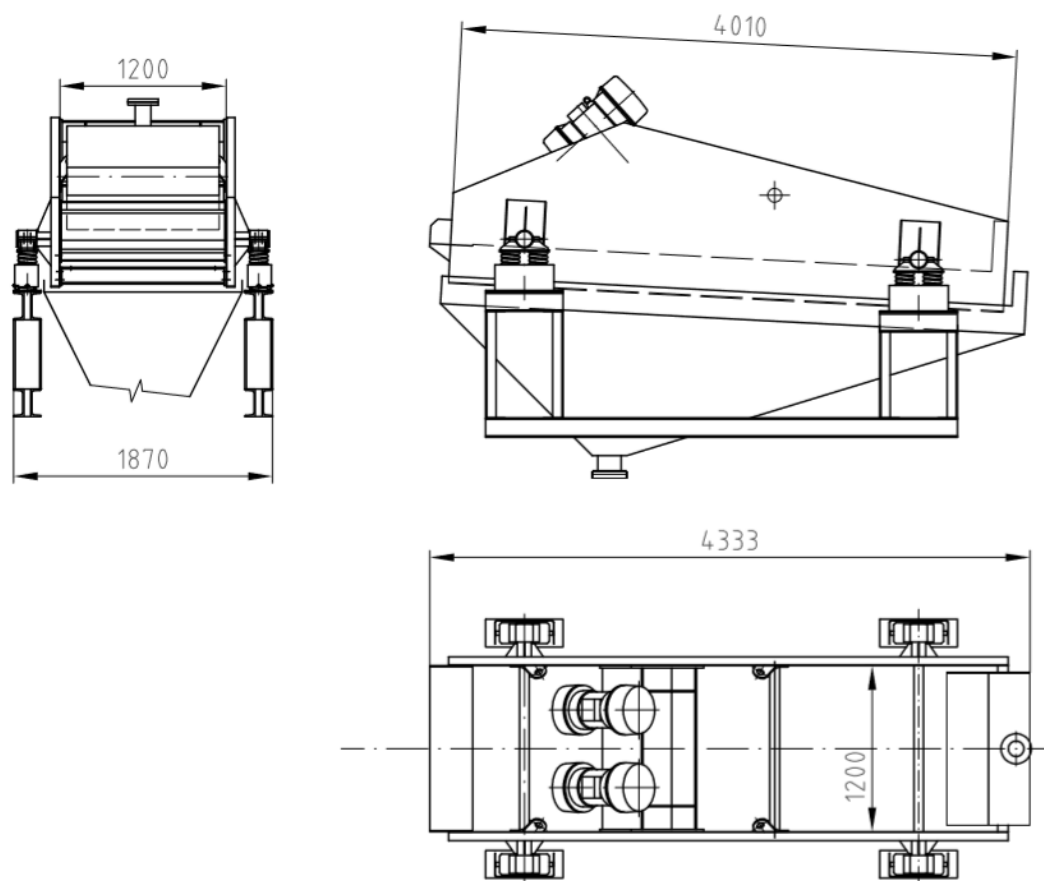
- Třídítnost velmi jemného materiálu
- Vysoký stupeň čistoty
- Rychlá návratnost investice
- Nízké provozní náklady



Obr. č. 3.15 3D model vibračního třídíče IFE-SORT [15]

4 Cíle práce

Mým cílem diplomové práce je návrh vibračního dehydrátoru, který by měl nahradit dnešní stávající trh. Jeho předností by měla být větší třídící plocha při zachování rozměrů šířky a díky tomu zvýšení třídícího výkonu a většího odvodnění. Dalšími cíli je, aby vibrační dehydrátor měl dostatečnou rychlost posuvu materiálu, měl jednoduchou možnost vyměnit třídící segmenty a jednoduchou vizuální kontrolu. Třídící plocha by měla mít štěrbinová síta s mezerou 0,25 mm. V zadání je požadováno, aby zařízení odvodnilo minimálně $40 \text{ t} \cdot \text{h}^{-1}$ materiálu.



Obr. č. 4.1 Aktuální řešení na úpravně ČSM



Obr. č. 4.2 Foto vibračního dehydrátoru na úpravně ČSM



Obr. č. 4.3 Foto vibračního dehydrátoru na úpravně ČSM



Obr. č. 4.4 Foto štěrbinových segmentů dehydrátoru na úpravně ČSM



Obr. č. 4.5 Foto nosníků pro podporu a uložení štěrbinových segmentů na úpravně ČSM

5 Metodika řešení

Tato kapitola bude zaměřena na vývojový průběh mého návrhu až k finální verzi. Budou zde zobrazeny návrhy a s nimi spojené problematiky, které vznikaly při vytváření konkrétních variant.

5.1 Zrnitostní rozbor

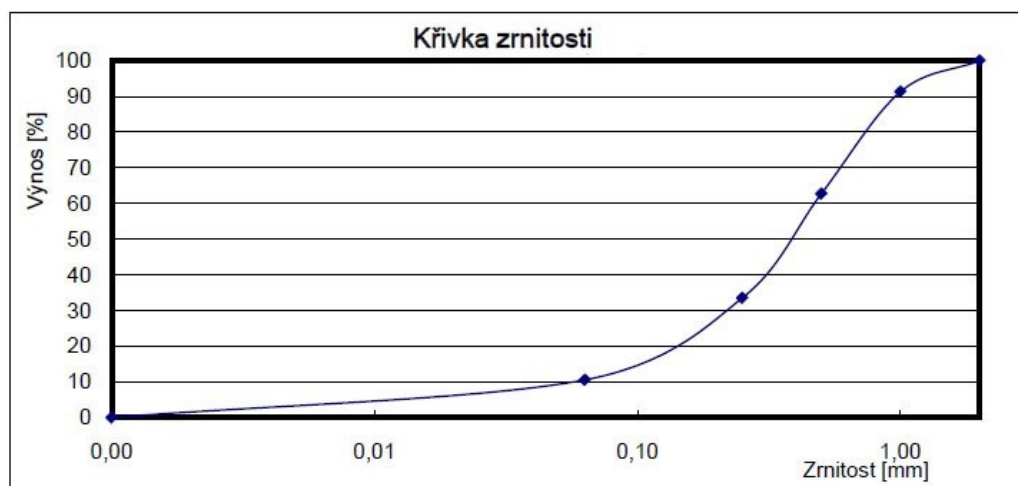
Zrnitostní rozbor je velmi klíčovou součástí při návrhu třídící plochy a výpočtu výkonu třídiče. Mohl by vzniknout problém, že by tříděný materiál obsahoval poměrně velkou složku zrnitosti, menší, než je mezera šterbiny, a tak by většina materiálu byla odvodněna pryč. Za pomoci zrnitostního rozboru aktuálního vzorku na úpravně ČSM zjistíme procentuální výskyt jednotlivých frakcí v dopravované suspenzi. Materiál byl odebrán z přívodního potrubí a následně byl proveden zrnitostní rozbor.

Hodnoty uvedené v tabulce byly převzaty z provozní laboratoře úpravny dolu ČSM a jedná se o průměrné hodnoty z 10 měření.

Tabulka č. 1 Zrnitostní rozbor

Zrnitost [mm]	Výnos [%]	Σ výnosů [%]
	0	0
-0,063	10,55	10,55
0,063 - 0,250	22,95	33,50
0,250 - 0,500	29,22	62,72
0,500 - 1,000	28,58	91,30
+1,000	8,70	100
celkem	100	

Z tabulky č. 1 lze vyčíst, že šterbinovým sítem propadne materiál o zrnitosti 0–0,250 mm celkem 33,5 %. Pomocí hodnot z tabulky č. 1 je pak sestrojena křivka zrnitosti materiálu přicházející potrubím k vibračnímu dehydrátoru.



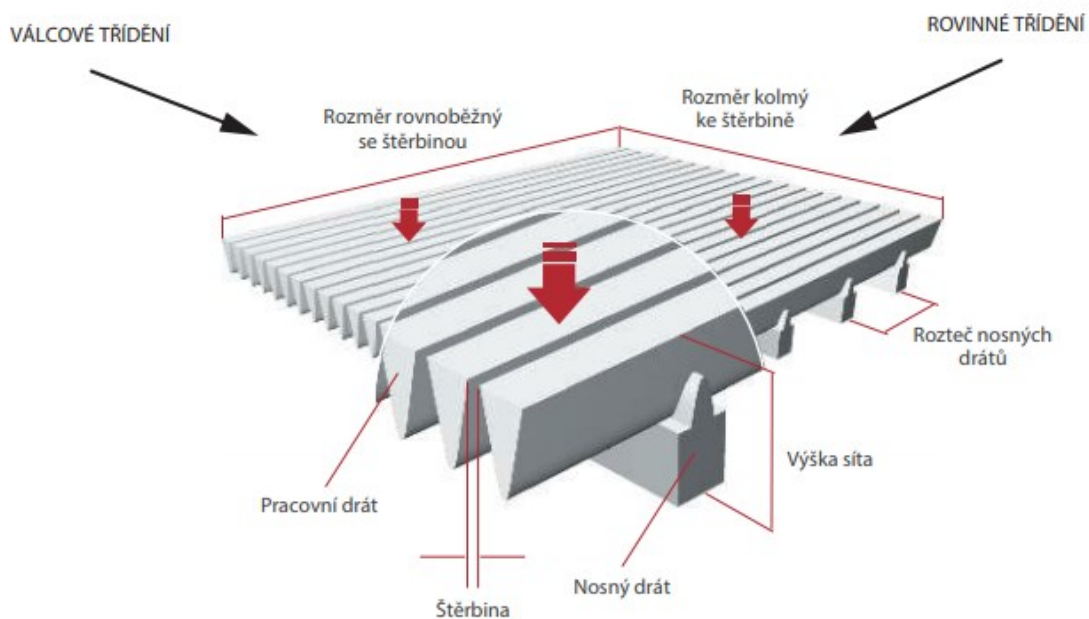
Obr. č. 5.1 Graf křivky zrnitosti

5.2 Výběr třídící plochy

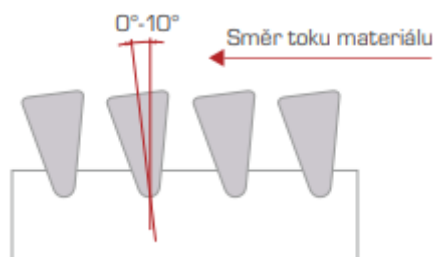
Výběr síta je nezbytnou součástí návrhu vibračního dehydrátoru. Pro své řešení jsem si vybral firmu VENPRO, která vyrábí širokou škálu třídících sít, a to průmyslová, polyuretanová, šterbinová, tkaná, v rámech a žárovzdorné koše. Pro své řešení volím šterbinové síto.

Svařované šterbinové síto se výborně uplatňuje v procesech filtrace pevných částic z kapaliny. Je tvořeno nerezovou ocelí o výborné kvalitě. Dráty jsou k sobě přivařeny pomocí technologie odporového svařování, které umožňuje zajistit velmi přesné rozměry šterbin. Tato síta jsou vhodná jak pro statický, tak i dynamický tlak. Šterbinová síta lze rozdělit na rovinná, válcová, oblouková, žlabová a kuželová. [16]

Polyuretanová síta mají podobnou efektivitu jako šterbinová síta. Z ekonomického hlediska jsou nejideálnější volbou. Avšak hlavní nevýhodou je velký nárok na šířku žlabu. V mém případě, kdy se snažím přiblížit k rozměrům aktuálního stroje je tato varianta nepoužitelná, a proto volím síto šterbinové. [16]



Obr. č. 5.2 Detail štěrbinového síta [16]



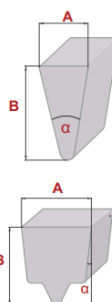
Obr. č. 5.3 Detail štěrbinového síta pro válcové třídění [16]

5.3 Volná třídící plocha

Jedná se o nejdůležitější parametr štěrbinového síta. Volná plocha se vyjadřuje v procentech, jako podíl velikosti štěrbin a celkové třídící plochy. Pro výpočet volné třídící plochy je důležité si zvolit parametry pracovního a nosného drátu dle katalogu firmy VENPRO.

Pracovní dráty standardní

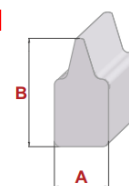
Typ	A (mm)	B (mm)	$\alpha(^{\circ})$	$\beta(^{\circ})$
Typ Sb				
Sb 6	0,50	1,20	12	
Sb 8	0,60	1,20	22	
Sb 10	0,75	1,30	20	
Sb 12	1,00	2,00	20	
Sb 18	1,50	2,50	23	
Sb 22	1,80	3,70	23	
Sb 28	2,20	4,50	23	
Sb 34	2,80	5,00	23	
Sb 42	3,40	6,50	23	
Sb 60	4,00	9,00	20	
Sb 70	5,00	10,00	24	
SbA 50	5,00	6,00	40	
Sb 55*	5,00	5,50	6	



Nosné dráty

Typ Q	A (mm)	B (mm)
Q 25	2,00	3,00
Q 35	3,00	5,00
Q 55	4,00	8,00

Jiné rozměry dostupné na dotaz

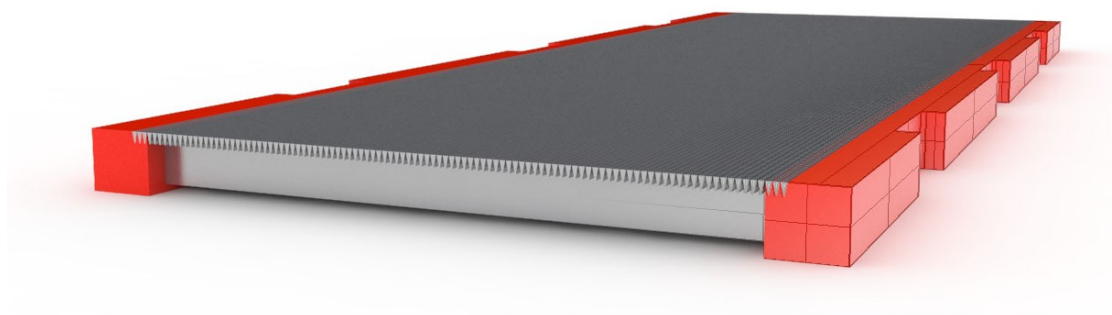


Obr. č. 5.4 Katalogové hodnoty VENPRO [16]

Volím pracovní drát Sb 28 a nosný drát typ Q 35.

Volná třídící plocha:

$$F_{0tp} = \frac{S}{S+A} \cdot 100 = \frac{0,25}{0,25+2,2} \cdot 100 = 10,2 \% \quad (\text{viz.lit.}[16]) \quad (5.1)$$

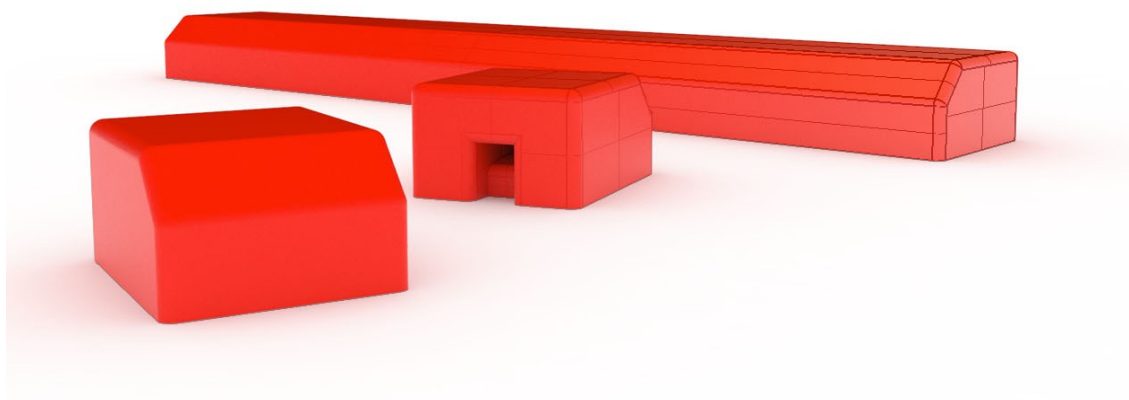


Obr. č. 5.5 Vizualizace štěrbinového síta Rhino V-Ray

5.4 Pojistné klíny

Klíny slouží k zajištění štěrbinového síta tím, že se na štěrbinové síto položí klín v místě, kde je profil k upevnění a pomocí gumového kladiva se tento klín nabije na profil. Funkce klínu spočívá v tom, že zajišťuje štěrbinové síto proti poskakování, ale slouží i pro zpomalení chodu materiálu, a tím zajišťuje větší odvodnění. Materiál dopravovaný mikrovřhem se brzdí o tyto klíny a působí ve směru zajištění klínu. Tok materiálu má tedy funkci v jištění těchto klínů. Klíny lze různě kombinovat. Můžeme použít klín, který se upevňuje pouze k jednomu profilu, nebo také klín, který se upevňuje ke dvěma profilům, případně klín, který odpovídá

šířce třídící plochy. Pokud by i přesto bylo odvodnění nedostačující, dá se k bočnicím přimontovat L-profil pro dodatečné zpomalení a odvodnění.

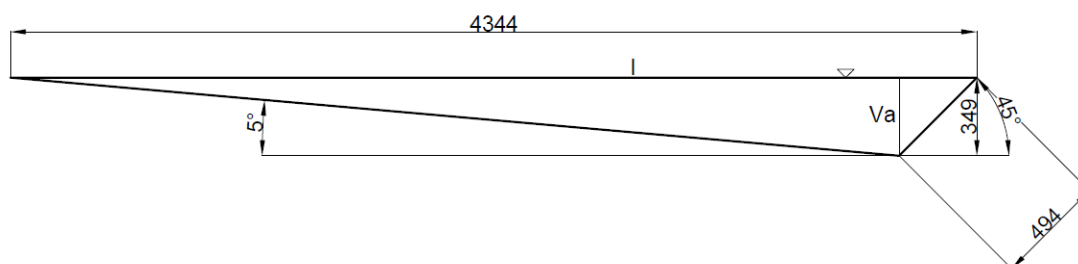


Obr. č. 5.6 Vizualizace pojistných klínů Rhino V-Ray

5.5 Vyšetření třídící plochy

Pro návrh budou vypočteny dvě varianty. První varianta bude, kdy vibrační třídič bude pracovat pod sklonem 5°. Druhá varianta bude, kdy vibrační třídič bude podložen tak, že jeho sklon vůči podlaze bude 10°. Jedná se o maximální možné zatížení materiálem na ploše vibračního dehydrátoru. Při ucpání štěrbinového síta nepropustným filtrem, by materiál setrval v tekutém stavu a vytekl by přední částí vibračního dehydrátoru.

Varianta č. 1 Normální chod



Obr. č. 5.7 Schéma varianty č. 1

$$S_{p1} = \frac{l \cdot Va}{2} = \frac{4344 \cdot 349}{2} = 1516056 \text{ mm} = 1,516 \text{ m}^2 \quad (\text{viz.lit.}[17]) \quad (5.2)$$

$$V_{p1} = S_{p1} \cdot b = 1,516 \cdot 1,2 = 1,819 \text{ m}^3 \quad (5.3)$$

Maximální zatížení třídícím materiálem:

Sypná hmotnost černého kusového uhlí se pohybuje v rozmezí 1200–1500 kg·m⁻³. V mém případě se jedná o černé uhlí, které je tvořeno zrnitostí 0–1 mm a ve spolupráci s úpravou ČSM mi byla poskytnuta hodnota tohoto souboru. Sypná hmotnost černého uhlí o zrnitosti 0–1 mm je $\rho_{su} = 900 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$. Hustota vody je $\rho_{sv} 977 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$. Zahuštění je v rozmezí 200–300 g na jeden litr vody. Horší varianta je tehdy, když je obsaženo pouze 200 g uhlí v suspenzi, jelikož má menší sypnou hmotnost, než je měrná hmotnost vody.

Procentuální vyjádření poměru uhlí a vody:

$$m_{sus} = m_{uhlí} + m_{vody} = 0,2 + 1 = 1,2 \text{ kg} \quad (5.4)$$

$$P_{uhlí} = \frac{m_{uhlí}}{m_{sus}} \cdot 100 = \frac{0,2}{1,2} = 17 \% \quad (5.5)$$

$$P_{vody} = 100 - P_{uhlí} = 100 - 17 = 83 \% \quad (5.6)$$

$$m_{m1} = P_{uhlí} \cdot V_{p1} \cdot \rho_{uhlí} + P_{vody} \cdot V_{p1} \cdot \rho_{vody} \quad (5.7)$$

$$m_{m1} = 0,17 \cdot 1,819 \cdot 900 + 0,83 \cdot 1,819 \cdot 977 = 1754,08 \text{ kg} = 1,754 \text{ t}$$

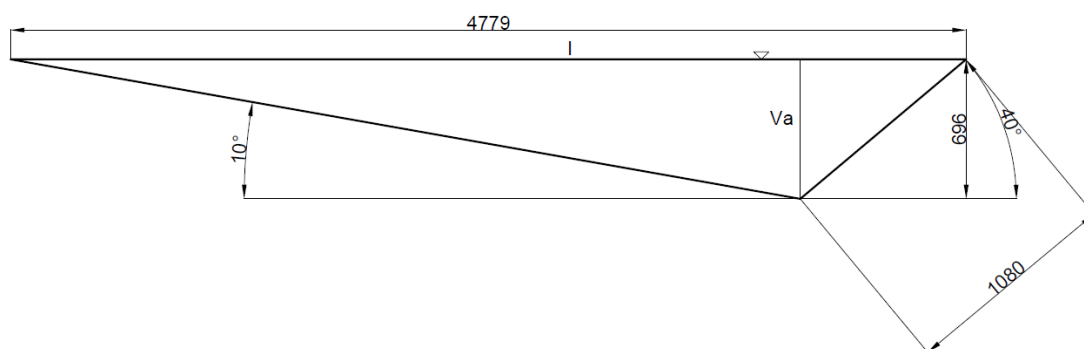
Celková třídící plocha:

$$S_{ak1} = b \cdot l_a = 1,2 \cdot 4,01 = 4,812 \text{ m}^2 \quad (5.8)$$

$$S_{n1} = S_{ak} + b \cdot l_{n1} = 4,812 + 1,2 \cdot 0,494 = 5,405 \text{ m}^2 \quad (5.9)$$

Procentuální zvětšení plochy varianty č. 1:

$$Z_{tp1} = \left[\left(\frac{S_{n1}}{S_{ak}} \right) - 1 \right] \cdot 100 = \left[\left(\frac{5,405}{4,812} \right) - 1 \right] \cdot 100 = 12,319 \% \quad (5.10)$$

Varianta č. 2 Chod s dodatečně nakloněnou rovinou

Obr. č. 5.8 Schéma varianty č. 2

$$S_{p2} = \frac{l \cdot Va}{2} = \frac{4779 \cdot 696}{2} = 1663092 \text{ mm} = 1,663 \text{ m}^2 \quad (5.11)$$

$$V_{p2} = S_{p2} \cdot b = 1,663 \cdot 1,2 = 1,996 \text{ m}^3 \quad (5.12)$$

Maximální zatížení třídícím materiálem:

$$m_{m2} = P_{uhlí} \cdot V_{p2} \cdot \rho_{uhlí} + P_{vody} \cdot V_{p2} \cdot \rho_{vody} \quad (5.13)$$

$$m_{m2} = 0,17 \cdot 1,996 \cdot 900 + 0,83 \cdot 1,996 \cdot 977 = 1924,197 \text{ kg} = 1,924 \text{ t}$$

Celková třídící plocha:

$$S_{n2} = S_{ak} + b \cdot l_{n2} = 4,812 + 1,2 \cdot 1,08 = 6,108 \text{ m}^2 \quad (5.14)$$

Procentuální zvětšení plochy varianty č. 1:

$$Z_{tp2} = \left[\left(\frac{S_{n2}}{S_{ak}} \right) - 1 \right] \cdot 100 = \left[\left(\frac{6,108}{4,812} \right) - 1 \right] \cdot 100 = 26,93 \% \quad (5.15)$$

Z výpočtů jasně vyplývá, že při naklonění třídící plochy o 10° je procentuální zvětšení plochy o 26,93 %. V případě naklonění pouze o 5° je toto navýšení pouze 12,319 %. K třídění dochází ihned po styku materiálu se štěrbinovými segmenty. Vzhledem k tomu, že daný materiál urazí delší vzdálenost na třídící ploše, uvažujeme, že celkové odvodnění by mělo být větší, než v případě aktuálního řešení na úpravně ČSM. Dále se vibrační dehydrátor bude navrhovat podle variant č. 2, jelikož v tomto případě dochází k většímu zatížení celé třídící plochy a konstrukce stroje.

6 Výpočet technologických parametrů dehydrátoru

6.1 Volba frekvence kmitání

Předběžně byl zvolený elektrický vibromotor firmy Webac-Vibro s parametrem:

$$n = 1460 [\text{min}^{-1}]$$

Frekvence kmitání:

$$f = \frac{n}{60} = \frac{1460}{60} \quad (6.1)$$

$$f = 24,333 \text{ Hz}$$

Úhlová frekvence kmitání vibračního rámu:

$$\omega = 2 \cdot \pi \cdot f \quad (6.2)$$

$$\omega = 2 \cdot \pi \cdot 24,333$$

$$\omega = 152,891 \text{ s}^{-1}$$

6.2 Volba úhlu a výpočet amplitudy kmitání

Abychom mohli vypočítat amplitudu, je potřeba volit prvně úhel vrhu, který svírá působení výslednice sil vibromotorů s horizontální osou. Pro další výpočty je potřeba volit úhel naklonění žlabu.

Volba úhlu vrhu:

$$\beta = 53^\circ \quad (6.3)$$

Volba naklonění žlabu:

$$\varepsilon = 10^\circ \quad (6.4)$$

Technologický součinitel:

Udává poměr mezi maximálním svislým zrychlením k zrychlení gravitačnímu. Volí se na základě dopravovaného materiálu. Literatura pro hutní materiály doporučuje toto rozmezí:

$$k_v = (2,8 \div 3,3) \quad (\text{viz.lit.}[27]) \quad (6.5)$$

$$k_v = 3$$

Amplituda:

$$a = \frac{k_v \cdot g}{\omega^2 \cdot \sin \beta} = \quad (\text{viz.lit.}[27]) \quad (6.6)$$

$$a = \frac{3 \cdot 9,81}{152,891^2 \cdot \sin 53^\circ} =$$

$$a = 1,576 \cdot 10^{-3} \text{ m}$$

6.3 Podmínka dopravy mikrovřhem

$$\frac{a \cdot \omega^2 \cdot \sin \beta}{g} > 1 \quad (\text{viz. lit. [26]}) \quad (6.7)$$

$$\frac{1,576 \cdot 10^{-3} \cdot 152,891^2 \cdot \sin 53^\circ}{9,81} > 1$$

$$3 > 1$$

Podmínka pro dopravu mikrovřhem je splněna.

6.4 Podmínka dopravy mikrovřhem ve sklonu

$$\frac{a \cdot \omega^2 \cdot \sin(\beta - \varepsilon)}{g \cdot \cos \varepsilon} > 1 \quad (\text{viz. lit. [26]}) \quad (6.8)$$

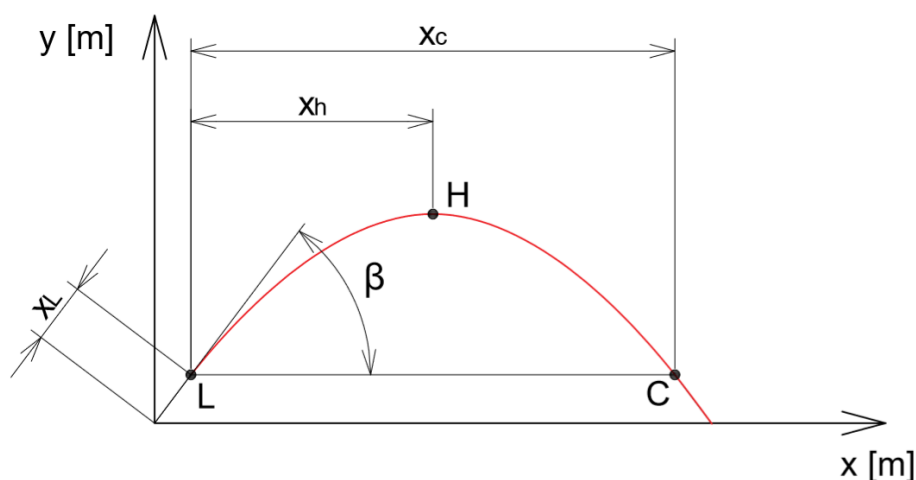
$$\frac{1,576 \cdot 10^{-3} \cdot 152,891^2 \cdot \sin(53^\circ - 10^\circ)}{9,81 \cdot \cos 10^\circ} > 1$$

$$2,601 > 1$$

Podmínka pro dopravu mikrovřhem ve sklonu je splněna.

6.5 Výpočet postupové rychlosti

Pomocí této graficko-početní metody zjistíme polohu bodů vrhové paraboly a následné určení bodu dopadu, pomocí kterého se pak vypočítá postupová rychlost zrna. Bod dopadu je bod, který vznikne průsečíkem vrhové paraboly s goniometrickou funkcí sinus, znázorňující harmonický kmitavý pohyb daného žlabu. Na obr. č. 6.1 máme znázorněné hlavní body, které budeme v následujících výpočtech zjišťovat.



Obr. č. 6.1 Graf vzoru pro výpočtovou část

Vyšetření bodu L:

Bod L je prvním bodem paraboly, neuvažujeme-li s počátkem v bodě nula. V bodě L nastává oddělení dopravovaného zrna od povrchu žlabu. Pro přesný výpočet a určení tohoto bodu potřebujeme znát tyto hodnoty:

$$\sin \varphi_L = \sin \omega t_L = \frac{g \cdot \cos \varepsilon}{a \cdot \omega^2 \cdot \sin(\beta - \varepsilon)} = \quad (\text{viz. lit. [27]}) \quad (6.9)$$

$$\sin \varphi_L = \sin \omega t_L = \frac{9,81 \cdot \cos 10^\circ}{1,576 \cdot 10^{-3} \cdot 152,891^2 \cdot \sin(53^\circ - 10^\circ)} =$$

$$\sin \varphi_L = 0,384$$

$$\varphi_L = \omega t_L = 0,395 \text{ rad}$$

Vzdálenost bodu L od střední polohy (nanesená pod úhlem vrhu β):

$$x_L = a \cdot \sin \varphi_L \quad (\text{viz. lit. [27]}) \quad (6.10)$$

$$x_L = 1,576 \cdot 10^{-3} \cdot 0,384$$

$$x_L = 6,06 \cdot 10^{-4} \text{ m}$$

Čas letu zrna od střední polohy do bodu L:

$$t_L = \frac{\varphi_L}{\omega} = \frac{0,395}{152,891} \quad (6.11)$$

$$t_L = 2,581 \cdot 10^{-3} \text{ s}$$

Počáteční rychlost zrna v bodě L:

$$v_L = a \cdot \omega \cdot \cos \varphi_L \quad (\text{viz. lit. [27]}) \quad (6.12)$$

$$v_L = 1,576 \cdot 10^{-3} \cdot 152,891 \cdot \cos 0,395$$

$$v_L = 0,223 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$$

Vyšetření bodu C:

Tento bod se nachází na druhé straně paraboly a je opačný k bodu L.

Vodorovná vzdálenost bodu C od bodu L:

$$x_c = \frac{2 \cdot v_L^2 \cdot \sin \beta \cdot \cos \beta}{g} \quad (\text{viz. lit. [27]}) \quad (6.13)$$

$$x_c = \frac{2 \cdot 0,223^2 \cdot \sin 53^\circ \cdot \cos 53^\circ}{9,81}$$

$$x_c = 4,851 \cdot 10^{-3} \text{ m}$$

Čas letu zrna z bodu L do bodu C:

$$t_c = \frac{2 \cdot v_L^2 \cdot \sin \beta}{g} \quad (\text{viz.lit.}[27]) \quad (6.14)$$

$$t_c = \frac{2 \cdot 0,223^2 \cdot \sin 53^\circ}{9,81}$$

$$t_c = 3,622 \cdot 10^{-2} \text{ s}$$

Úhel natočení neboli fázový posuv při dosažení bodu C:

$$\varphi_c = \varphi_L + \omega \cdot t_c \quad (6.15)$$

$$\varphi_c = 0,395 + 152,891 \cdot 3,622 \cdot 10^{-2}$$

$$\varphi_c = 5,934 \text{ rad}$$

Vyšetření bodu H:

Bod H se nachází na vrcholu paraboly. Tento bod znázorňuje nejvyšší polohu zrna při dopravě mikrovrhem.

Úhel natočení neboli fázový posuv při dosažení bodu H:

$$\varphi_h = \varphi_L + \omega \cdot t_h \quad (6.16)$$

$$\varphi_h = 0,395 + 152,891 \cdot 1,811 \cdot 10^{-2}$$

$$\varphi_h = 3,16 \text{ rad}$$

Svislá vzdálenost mezi úsečkou LC a bodem H:

$$h_1 = \frac{v_L^2 \cdot \sin^2 \beta}{2 \cdot g} \quad (\text{viz.lit.}[27]) \quad (6.17)$$

$$h_1 = \frac{0,223^2 \cdot \sin^2 53^\circ}{2 \cdot 9,81}$$

$$h_1 = 1,609 \cdot 10^{-3} \text{ m}$$

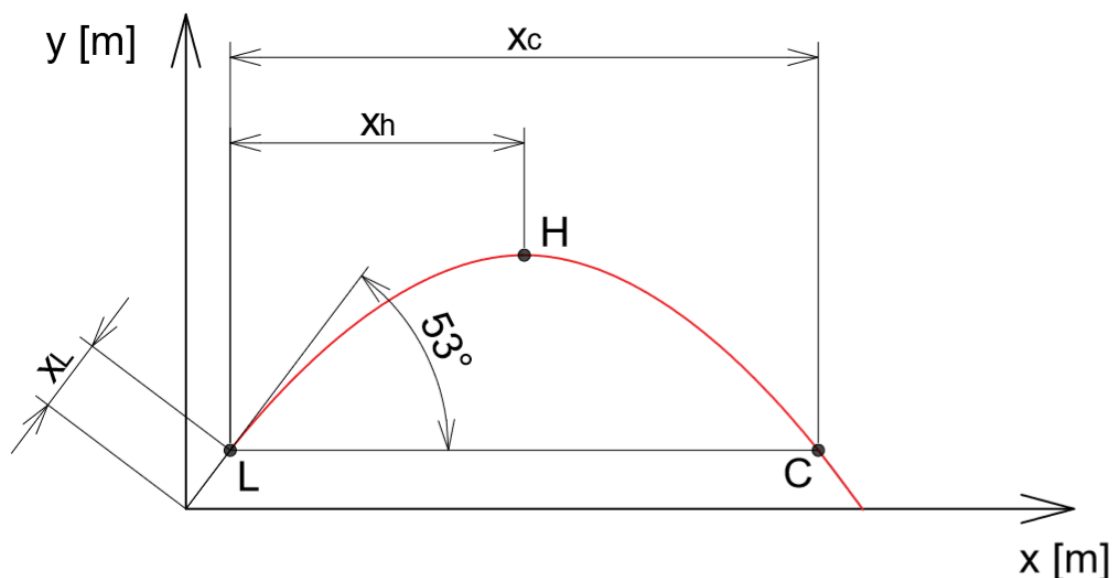
Vodorovná vzdálenost bodů L a H:

$$x_H = \frac{x_c}{2} = \frac{4,851 \cdot 10^{-3}}{2} = 2,426 \cdot 10^{-3} \text{ m} \quad (6.18)$$

Čas letu zrna mezi body L a H:

$$t_h = \frac{t_c}{2} = \frac{3,622 \cdot 10^{-2}}{2} = 1,811 \cdot 10^{-2} \text{ s} \quad (6.19)$$

Vypočtené body paraboly (L, H, C) byly vyneseny do grafu. Pro zkonstruování paraboly bylo nejdříve potřeba určení ohniska a řídící přímky. To bylo provedeno za pomoci subtangenty a subnormály. Následně byla použita bodová konstrukce paraboly.



Obr. č. 6.2 Graf šikmého vrhu

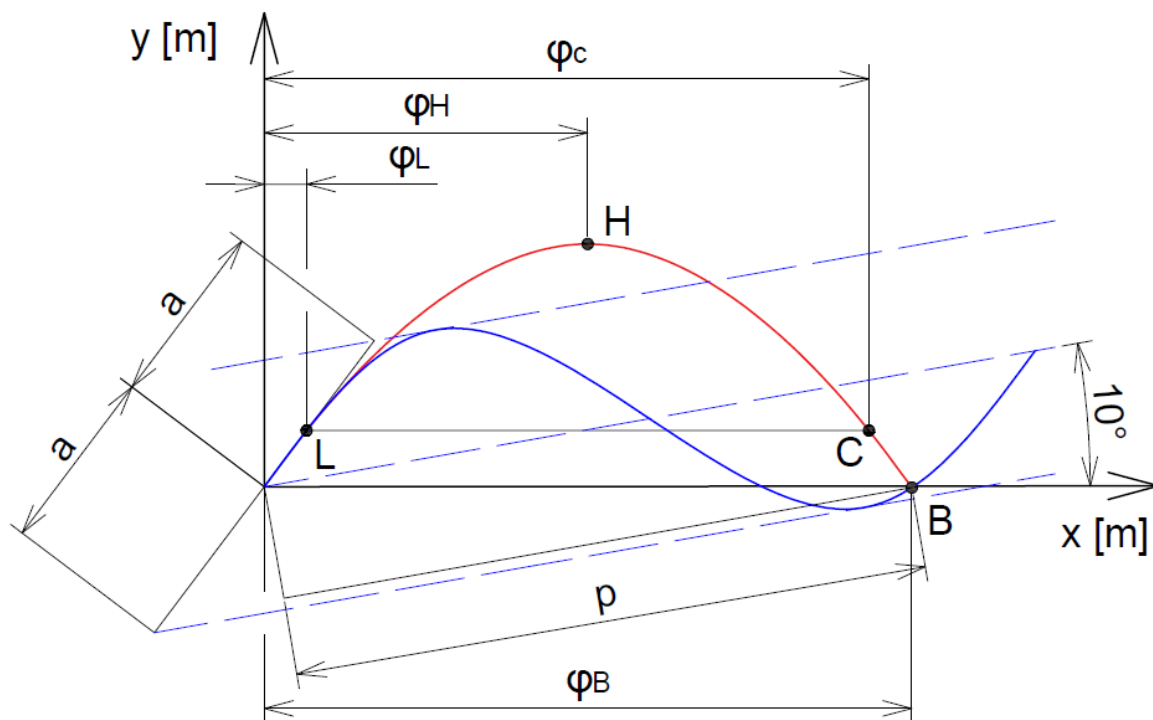
Abychom mohli zjistit bod dopadu zrna na třídící plochu, bylo zapotřebí použít následující měřítko pro goniometrickou funkci sinus, které sjednocuje velikosti úhlů s délkovými rozměry.

$$\varphi_L \cong \uparrow x_L \cdot \cos \beta = 6,06 \cdot 10^{-4} \cdot \cos 53^\circ = 3,65 \cdot 10^{-4} \quad (6.20)$$

$$\varphi_H \cong \uparrow x_L \cdot \cos \beta + x_h = 6,06 \cdot 10^{-4} \cdot \cos 53^\circ + 2,426 \cdot 10^{-3} = 2,79 \cdot 10^{-3} \quad (6.21)$$

$$\varphi_C \cong \uparrow x_L \cdot \cos \beta + x_c = 6,06 \cdot 10^{-4} \cdot \cos 53^\circ + 4,485 \cdot 10^{-3} = 5,216 \cdot 10^{-3} \quad (6.22)$$

$$\varphi_B \cong \uparrow x_L \cdot \cos \beta + x_B = 6,06 \cdot 10^{-4} \cdot \cos 53^\circ + 5,221 \cdot 10^{-3} = 5,86 \cdot 10^{-3} \quad (6.23)$$



Obr. č. 6.3 Graf šikmého vrhu proloženého funkcí sinus

Bod B je hledaný bod, který znázorňuje dopad zrna na plochu žlabu. Pro výpočet délky poskoku zrna bylo zapotřebí zjistit čas, kdy vrhané zrno dopadne do tohoto bodu. Díky sjednocení měřítka, bylo možné odečtení vodorovné vzdálenosti bodu x_B ze vzdálenosti fázového posunu φ_B a pomocí těchto hodnot vypočítat čas.

Vodorovná vzdálenost bodu B byla odečtena z grafu v programu Autodesk AutoCAD 2018.

$$x_B = 5,221 \cdot 10^{-3} \text{ m}$$

Čas dopadu zrna t_B :

$$t_B = \frac{t_c}{x_c} \cdot x_B = \quad (6.24)$$

$$t_B = \frac{3,622 \cdot 10^{-2}}{5,221 \cdot 10^{-3}} \cdot 6,809 \cdot 10^{-3}$$

$$t_B = 3,899 \cdot 10^{-2} \text{ s}$$

Délka poskoku:

$$p = \frac{1}{2} \cdot g \cdot (t_B - t_L)^2 \cdot \frac{\beta}{\sin(\beta - \varepsilon)} \quad (\text{viz. lit. [26]}) \quad (6.25)$$

$$p = \frac{1}{2} \cdot 9,81 \cdot (3,899 \cdot 10^{-2} - 2,581 \cdot 10^{-3})^2 \cdot \frac{\cos 53^\circ}{\sin(53^\circ - 10^\circ)}$$

$$p = 5,737 \cdot 10^{-3} \text{ m}$$

Počet kmitů žlabu připadající na jeden skok zrna:

Z důvodu největší efektivity by tato hodnota měla být rovna jedné, aby nedocházelo ke zbytečným kmitům žlabu, při kterých by zrno nedopadlo na třídící plochu žlabu.

$$o = 1$$

Výsledná rychlost:

$$v' = \frac{p \cdot f}{o} \quad (\text{viz. lit. [26]}) \quad (6.26)$$

$$v' = \frac{5,737 \cdot 10^{-3} \cdot 24,333}{1}$$

$$v' = 0,14 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$$

6.6 Postupová rychlost podle Dietrycha:

$$v'' = \frac{g}{\omega} \cdot \frac{\cos \beta}{\sin(\beta - \varepsilon)} \cdot \left[\frac{k_v - 1}{2} \cdot (k_v^2 - 1)^{\frac{1}{2}} + a \cdot \cos(\beta - \varepsilon) \cdot \frac{\omega}{2\pi} \right. \quad (\text{viz. lit. [27]}) \quad (6.27)$$

$$\left. \cdot \left\{ \frac{1}{k_v} - \sin[\varphi_L + (\pi \cdot \sqrt{2 \cdot (k_v - 1)})] \right\} \right]$$

$$v'' = \frac{9,81}{152,891} \cdot \frac{\cos 53^\circ}{\sin(53^\circ - 10^\circ)} \cdot \left[\frac{3 - 1}{2} \cdot (3^2 - 1)^{\frac{1}{2}} + 1,576 \cdot 10^{-3} \cdot \cos(53^\circ - 10^\circ) \right.$$

$$\left. \cdot \frac{152,891}{2\pi} \cdot \left\{ \frac{1}{3} - \sin[0,395 + (\pi \cdot \sqrt{2 \cdot (3 - 1)})] \right\} \right]$$

$$v'' = 0,159 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$$

6.7 Srovnání postupových rychlostí

Postupové rychlosti vypočtené podle obou metod jsou velmi podobné. Avšak graficko-početní metoda v prostředí AutoCAD 2018 je přesnější. Pro další výpočty se uvažuje s rychlostí:

$$v = 0,14 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1} \quad (6.28)$$

6.8 Určení výšky dopravovaného materiálu

Koeficient rozvolnění materiálu:

$$\psi = (0,6 \div 0,7) \quad (\text{viz.lit.}[27]) \quad (6.29)$$

$$\psi = 0,7$$

Dopravní výkon:

$$Q = 40 [t \cdot h^{-1}] \quad (6.30)$$

Sypná hmotnost materiálu:

Sypná hmotnost je tvořena 17 % uhlí a 83 % vody.

$$\rho_s = \rho_{uhlí} \cdot P_{uhlí} + \rho_{vody} \cdot P_{vody} \quad (6.31)$$

$$\rho_s = 900 \cdot 0,17 + 997 \cdot 0,83$$

$$\rho_s = 980,51 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$$

Výpočet výšky dopravovaného materiálu:

$$h = \frac{Q}{3,6 \cdot b \cdot v \cdot \rho_s \cdot \psi} \quad (\text{viz.lit.}[26]) \quad (6.32)$$

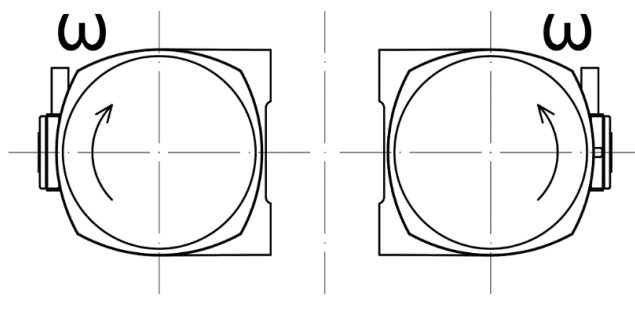
$$h = \frac{40}{3,6 \cdot 1,2 \cdot 0,14 \cdot 980,51 \cdot 0,7}$$

$$h = 0,096 \text{ m}$$

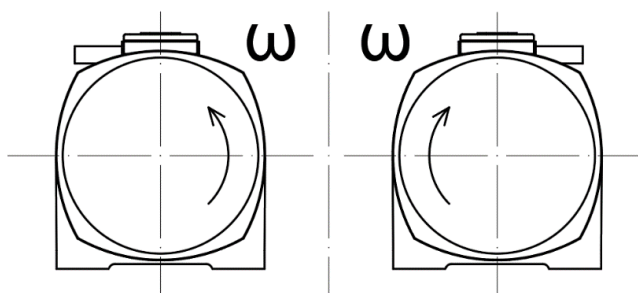
Výška dopravovaného materiálu může dosahovat až 300 mm. Obvykle bývá v rozmezí 100–250 mm. V porovnání s výpočtem lze zjistit, že výsledek se velmi přibližuje hodnotám z praxe a tím jej můžeme považovat za správný. Podle výsledku výpočtu výšky dopravovaného materiálu můžeme určit, že mnou navržený vibrační dehydrátor, by měl zvládnout i větší vstupní množství, než je $40 \text{ t} \cdot \text{h}^{-1}$.

7 Uložení vibromotorů

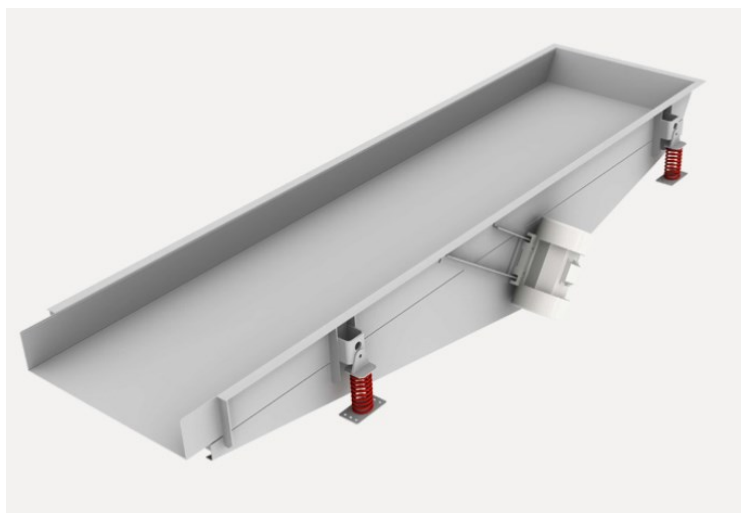
Možností uložení vibromotorů je několik. Můžeme se setkat s případy, kdy jsou vibromotory umístěny z boku konstrukce, zezadu nebo i nad třídící/dopravní plochou. Pokud máme dva vibromotory otočené proti sobě, vykonávají lineární nebo eliptický pohyb, případně střídavý, vzhledem k nastavení jejich nevývažků. Pohyb konstrukce závisí na tom, jak daleko se vibromotory nacházejí od těžiště stroje. Při lineárním pohybu je důležité si uvědomit, že odstředivé síly vibromotorů se sčítají a výslednice sil je kolmá na plochu, na které jsou uloženy. První varianta uložení vibromotorů po stranách vibračního dehydrátoru není možná, vzhledem k požadavkům dodržení šířky stroje, ačkoliv má velmi dobrou výhodu právě v umístění vibromotoru, ideálně do těžiště stroje. Proto připadá v úvahu druhá varianta, kdy jsou vibromotory umístěny nad třídící plochu vedle sebe. Toto uložení může být provedeno dvěma způsoby. Tyto dva způsoby se od sebe liší pouze natočením vibromotorů a jejich pootočením ke stroji, jak můžeme vidět v následujících obrázcích. Vibromotor je dostatečně krytý svou podstavou před tříděným materiálem. Nevýhodou uložení však je, přiblížit se výslednici odstředivých sil k těžišti stroje. To má za následek nerovnoměrné zatížení pružin. V následující kapitole budou tyto pružiny lehce předimenzované, a toto minimální nerovnoměrné zatížení pro ně nebude obtíží.



Obr. č. 7.1 Boční uložení vibromotorů



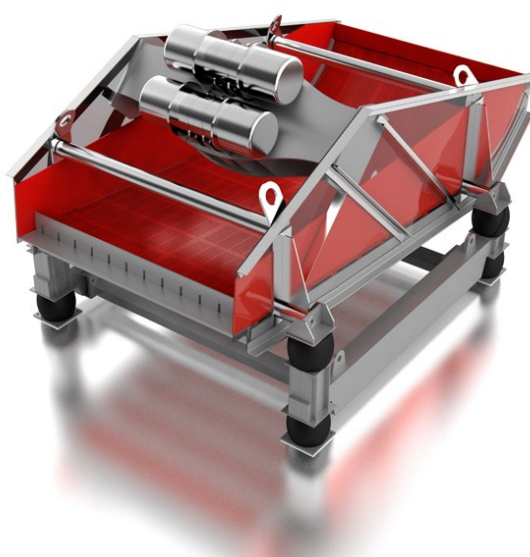
Obr. č. 7.2 Uložení vibromotorů vedle sebe



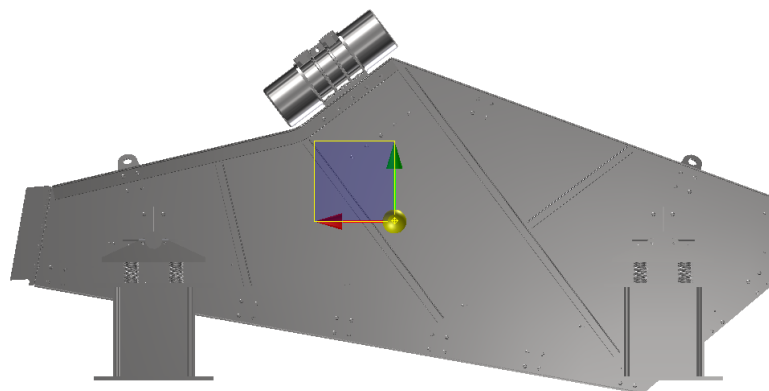
Obr. č. 7.3 3D model uložení vibromotoru z boku [18]



Obr. č. 7.4 Horní uložení vibromotorů varianta č. 1 [19]



Obr. č. 7.5 Horní uložení vibromotorů varianta č. 2 [20]



Obr. č. 7.6 Těžiště stroje

S ohledem na dispoziční uspořádání strojů ve stávající úpravně a prostorovou náročnost volím umístění vibračních pohonů dle obr. č. 7.4.

8 Volba vibromotorů



Obr. č. 8.1 Vizualizace vibromotoru Rhino V-Ray

Tabulka č. 2 Katalogové hodnoty vibromotoru [21]

Typ	VA 74
Otáčky	1460 [min ⁻¹]
Pracovní moment	4250 [kg·mm]
Odstředivá síla	99345 [N]
Výkon	6500 [W]
Max. amplituda	4,1 [mm]
Hmotnost	349 [kg]

Celková hmotnost rámu:

Celková hmotnost rámu je odečtena ze sestavy vibračního dehydrátoru. Součástí této hmotnosti nejsou např. nohy, ani další součásti, které tuto konstrukci svojí váhou nezatěžují.

$$m_{\text{rámu}} = 2441,528 \text{ kg} \quad (8.1)$$

Celková hmotnost vibromotorů:

Hmotnost vibromotorů je odečtena z katalogu firmy Webac-Vibro.

$$m_{\text{budiče}} = 698 \text{ kg} \quad (8.2)$$

Celková hmotnost materiálu na ploše:

Hmotnost materiálu je vypočtena v kapitole 5.5.

$$m_{m2} = m_{\text{materiálu}} = 1924,197 \text{ kg} \quad (8.3)$$

$$m_c = m_{\text{rámu}} + m_{\text{budiče}} + m_{\text{materiálu}} \quad (8.4)$$

$$m_c = 2441,528 + 698 + 1924,197$$

$$m_c = 5063,725 \text{ kg}$$

Celkový potřebný tah vibromotorů:

$$F = m_c \cdot a \cdot \omega^2 \quad (\text{viz.lit.}[27]) \quad (8.5)$$

$$F = 5063,725 \cdot 1,576 \cdot 10^{-3} \cdot 152,891^2$$

$$F = 186547,4 \text{ N}$$

Potřebný výkon jednoho vibromotoru:

$$F' = \frac{F}{n} = \frac{186547,4}{2} = 93273,7 \text{ N} \quad (8.6)$$

Kontrola odstředivé síly:

$$F'_o = 99345 \text{ N} \quad (8.7)$$

$$F'_o > F'$$

$$99345 \text{ N} > 93273,7 \text{ N}$$

Vibromotor vyhovuje.

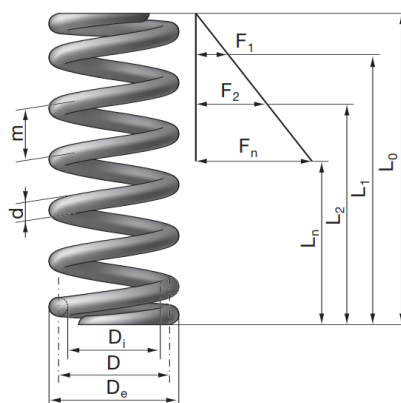
Přestože je vypočtená požadovaná odstředivá síla menší, než maximální odstředivá síla vibromotorů, je nutné si uvědomit, že je potřeba nastavit následně frekvenci vibračních budičů za pomoci frekvenčního měniče. V druhém případě nastavit správné pootočení

nevývažků vibromotorů. Tato metoda je velice přesná, ale je nutno znát parametry nevývažků. Pomocí obou zmiňovaných metod lze docílit přesného nastavení vibračních budičů, aby odpovídaly požadované odstředivé síle.

9 Volba pružin



Obr. č. 9.1 Vizualizace pružiny Rhino V-Ray



Obr. č. 9.2 Schéma pružiny [22]

Tabulka č. 3 Tabulka hodnot pružiny [23]

Průměr drátu	$d = 15,875 \text{ [mm]}$
Vnější průměr pružiny	$D_e = 101,6 \text{ [mm]}$
Vnitřní průměr pružiny	$D_i = 69,85 \text{ [mm]}$
Střední průměr pružiny	$D = 85,725 \text{ [mm]}$
Volná délka pružiny	$L_0 = 158,75 \text{ [mm]}$
Délka pružiny ve stavu max. zatížení	$L_n = 109,04 \text{ [mm]}$
Tuhost pružiny	$k = 210,233 \text{ [N}\cdot\text{mm}^{-1}\text{]}$

Poměrná doba vrhu:

$$t_v = \frac{\varphi_B - \varphi_L}{2\pi} = \frac{\omega t_B - \omega t_L}{2\pi} \quad (\text{viz. lit. [32]}) \quad (9.1)$$

$$t_v = \frac{152,891 \cdot 3,899 \cdot 10^{-2} - 152,891 \cdot 2,581 \cdot 10^{-3}}{2\pi}$$

$$t_v = 0,886 \text{ s}$$

Ekvivalentní hmotnost:

$$m_e = [(m_{rámu} + m_{budiče})^2 \cdot t_v + m_c^2 \cdot (1 - t_v)]^{\frac{1}{2}} \quad (\text{viz. lit. [32]}) \quad (9.2)$$

$$m_e = [(2441,528 + 698)^2 \cdot 0,886 + 5063,725^2 \cdot (1 - 0,886)]^{\frac{1}{2}}$$

$$m_e = 3414,267 \text{ kg}$$

Výpočet potřebné tuhosti pružin**Koeficient naladění:**

$$z = (1 \div 5) \quad (\text{viz. lit. [26]}) \quad (9.3)$$

$$z = 5$$

$$z = \frac{\omega}{\Omega_0} \quad (\text{viz. lit. [26]}) \quad (9.4)$$

$$\Omega_0 = \sqrt{\frac{K'}{m_e}} \quad (\text{viz. lit. [26]}) \quad (9.5)$$

$$5 = \frac{2\pi \cdot f}{\sqrt{\frac{K'}{m_e}}}$$

$$K' = \left(\frac{2\pi \cdot f}{5}\right)^2 \cdot m_e \quad (9.6)$$

$$K' = \left(\frac{2\pi \cdot 24,333}{5}\right)^2 \cdot 3414,267$$

$$K' = 3192423,125 \text{ N} \cdot \text{m}^{-1}$$

$$K' = 3192,423 \text{ N} \cdot \text{mm}^{-1}$$

Předběžná tuhost jedné pružiny:

$$k' = \frac{K'}{n_p} \quad (9.7)$$

$$k' = \frac{3192,423}{16}$$

$$k' = 199,527 \text{ N} \cdot \text{mm}^{-1}$$

Volba pružiny

Nejbližší tlačná nerezová pružina tuhosti $k = 210,233 \text{ N} \cdot \text{mm}^{-1}$ firmy AXCESS SPRING.

Statické zatížení:

$$F_s = \frac{m_c \cdot g}{n_p} \quad (9.8)$$

$$F_s = \frac{5063,725 \cdot 9,81}{16}$$

$$F_s = 3104,697 \text{ N}$$

Dynamické zatížení:

$$F_{dyn} = k \cdot a \cdot \sin \beta \quad (9.9)$$

$$F_{dyn} = 210233 \cdot 1,576 \cdot 10^{-3} \cdot \sin 53^\circ$$

$$F_{dyn} = 264,684 \text{ N}$$

Celkové zatížení:

$$F_c = F_s + F_{dyn} \quad (9.10)$$

$$F_c = 3104,697 + 264,684$$

$$F_c = 3369,381 \text{ N}$$

Délka stlačení pružiny při max. zatížení:

$$x = \frac{F_c}{k} \quad (9.11)$$

$$x = \frac{3369,381}{210,233}$$

$$x = 16,027 \text{ mm}$$

Porovnání maximálního možného stlačení pružiny se skutečným:

$$L_0 - L_n > x \quad (9.12)$$

$$75 - 55 \text{ mm} > 16,027 \text{ mm}$$

$$20 \text{ mm} > 16,027 \text{ mm}$$

Pružina maximálnímu stlačení vyhovuje.

Porovnání maximální zatěžující síly:

$$F_n > F \quad (9.13)$$

$$4330 > 3369,381$$

Podmínka pro pružinu splněna.

Celková tuhost pružin:

$$K = k \cdot n_p \quad (9.14)$$

$$K = 210,233 \cdot 16$$

$$K = 3363,728 \text{ N} \cdot \text{mm}^{-1}$$

Vlastní kruhová frekvence:

$$\Omega_0 = \sqrt{\frac{K}{m_{\text{rámu}} + m_{\text{budiče}}}} \quad (9.15)$$

$$\Omega_0 = \sqrt{\frac{3363728}{2441,528 + 698}}$$

$$\Omega_0 = 32,558 \text{ s}^{-1}$$

Vlastní frekvence žlabu:

$$f' = \frac{\Omega_0}{2\pi} = \frac{32,558}{2\pi} \quad (9.16)$$

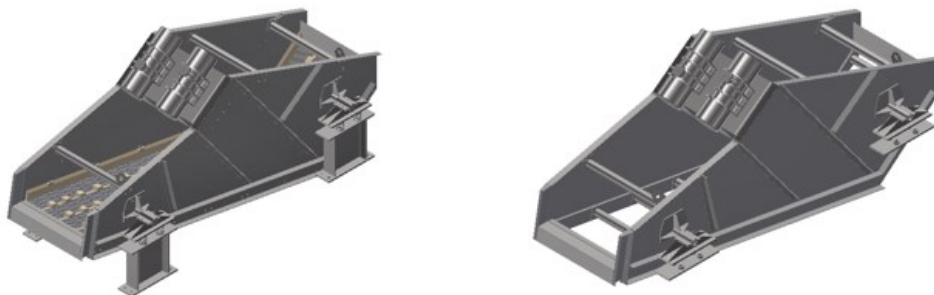
$$f' = 5,182 \text{ Hz}$$

Výše provedený teoretický návrh vibračního dehydrátoru pomocí graficko-početní metody v sobě nese spoustu volených parametrů a koeficientů, které nelze bez dlouholetých zkušeností v praxi s dostatečnou přesností odhadnout. Volba dvojice vibromotorů a tlačných pružin byla provedena na základě teoretických výpočetních vztahů. V praxi to může znamenat odlišné chování dopravovaného materiálu na šterbinových segmentech, než bylo vypočteno. Ověření teoretického návrh vibračního dehydrátoru a chování dopravovaného materiálu na šterbinových segmentech by bylo vhodné provést pomocí simulační metody DEM. Metoda DEM je nový moderní způsob, jak zkvalitnit všechny potřebné postupy a metody, pomocí kterých se nejnovější navrhovaná zařízení optimalizují. Pomocí DEM simulací by bylo možné získat optimální parametry vibračního pohybu konstrukce dehydrátoru, kterými jsou amplituda kmitání vibrující konstrukce, frekvence kmitání, směr vibrací apod. Ze simulace lze také odečíst působení sil, tlaků a energií. Při použití DEM metody lze také odhalit problémová místa dopravního zařízení, která není možné

při teoretickém konstrukčním návrhu jednoznačně identifikovat. Bohužel k tomuto programu nemám přístup a v rámci této diplomové práce je tato metoda velmi náročná a zdlouhavá. Proto bych se této analýze chtěl věnovat v navazujícím doktorském studiu.

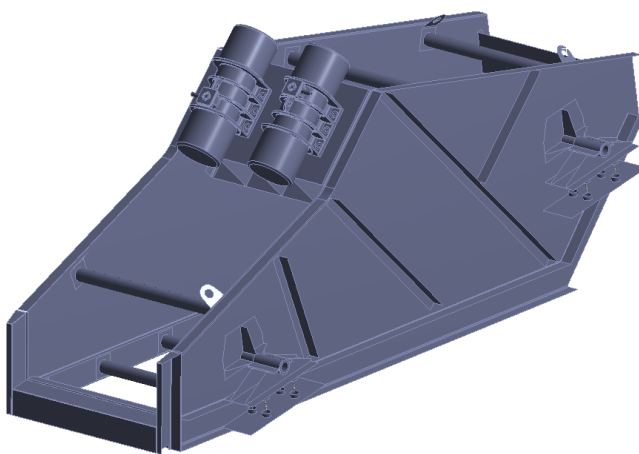
10 Modální analýza vlastní frekvence

Konstrukce vytvořená v Autodesk Inventor Professional 2018 byla pro modální analýzu pro ANSYS Workbench 19.1 zjednodušena pomocí odstranění děr, šroubů, T-profilů a šterbinových sít s klíny, které jsou poměrně rozsáhlé, a vyřešení jednotlivých vazeb by odpovídalo rozsahu disertační práce.



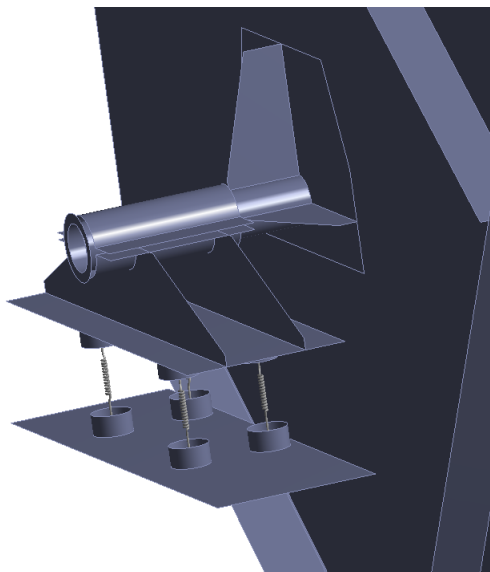
Obr. č. 10.1 Zjednodušení 3D modelu

Zjednodušená konstrukce se skládá ze 49 součástí bez pružin. Všechny součásti kromě vibromotorů byly pomocí funkce mid-surface předělány na střední plochy, a to pro lepší a přesnější výpočet. Každé součásti byl přiřazený materiál odpovídající nerezové oceli.



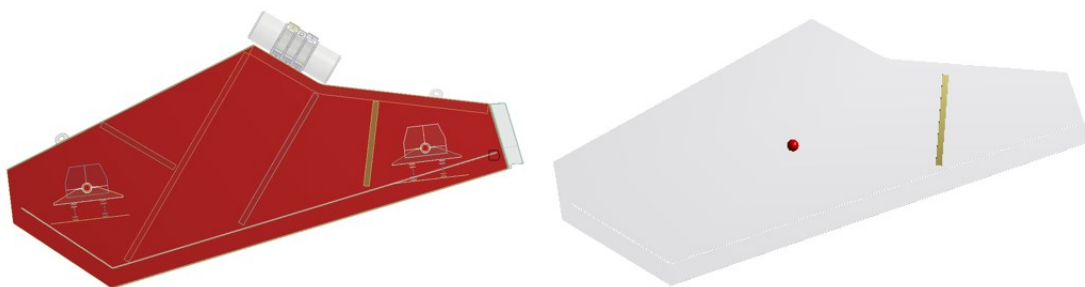
Obr. č. 10.2 Tenkostěnná konstrukce

Pružiny jsou následně v ANSYSU Workbench 19.1 vloženy funkcí connections a podkategorií contacts. Pružiny jsou uloženy na místě pro klasické pružiny. Mají také nastavenou tuhost. Celkem se v modelu nachází 16 pružin.



Obr. č. 10.3 Detail uložení pružin

Následně byly provedeny vazby jednotlivých součástí. Celkem bylo použito 63 kontaktních vazeb. Sestava je doplněna o čtyři fixed-support vazby na spodní straně podstavy vyhrazené pružinám, kde se nachází ukotvení stroje. Toto zavazbení nám umožní se přiblížit skutečnosti.



Obr. č. 10.4 Příklad zavazbení bočnice a výztuhy

Správnost výsledků se dala kontrolovat pouze do vložení osmé součásti. Kontrola probíhala tak, že při výpočtu vlastní frekvence, pro volně uloženou konstrukci, bylo prvních šest vlastních frekvencí rovno nule. Případně se na těleso dala umístit vazba fixed-support, a tím byla hned první vlastní frekvence konstrukce nenulová. Po přidání

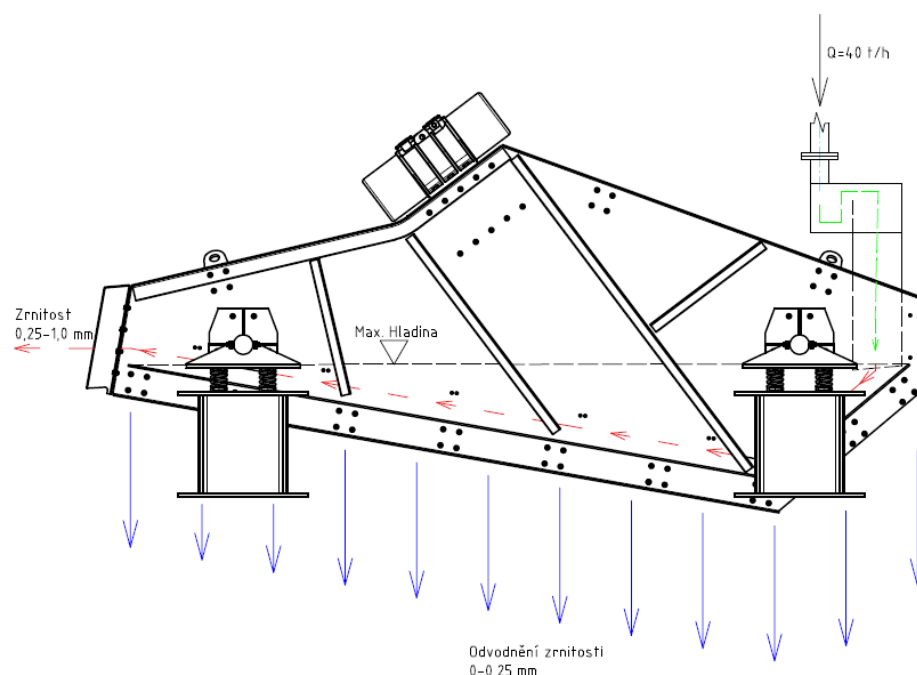
deváté součásti nastala systémová chyba, která hlásila překročení limitu maximálního počtu těles.

Na modální analýze jsem pracoval mimo školní zázemí i v učebnách školy. V obou případech jsem nebyl schopen dokončit modální analýzu, kvůli omezené licenci.

Modální analýza v prostřední ANSYS je velmi kvalitní a dosahuje přesnějších hodnot než kupříkladu v programu Inventor.

11 Přívod materiálu a jeho třídění

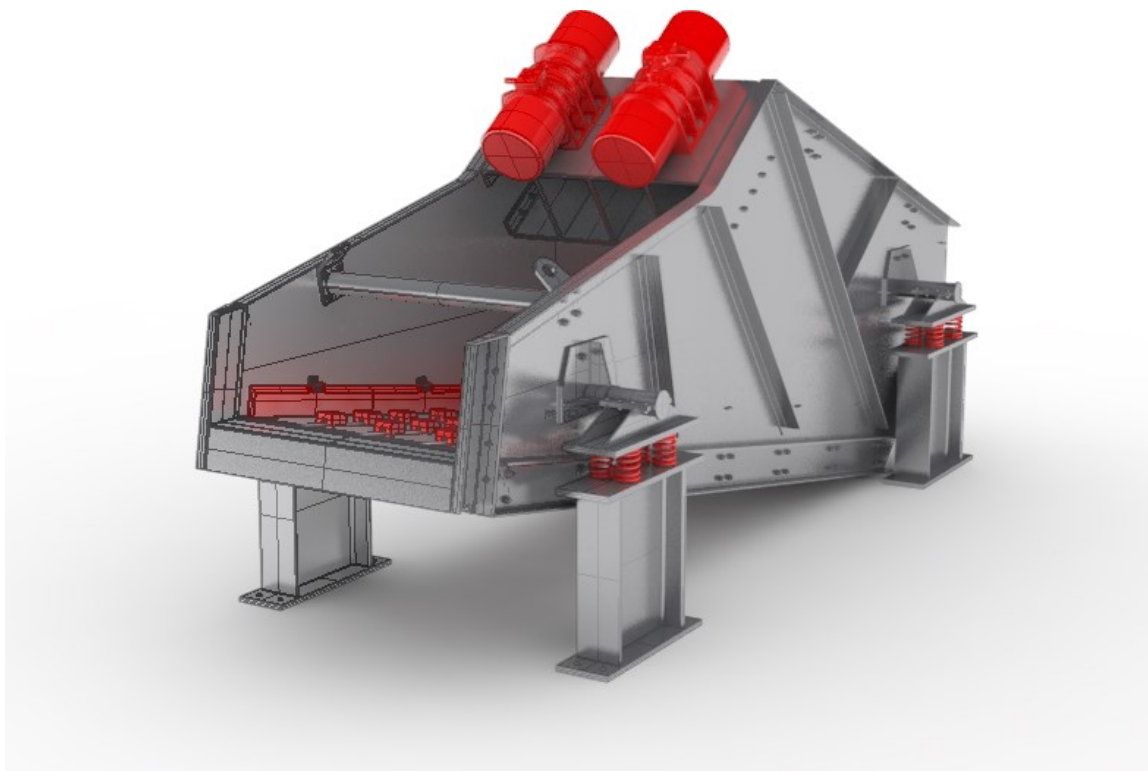
Úkolem vibračního dehydrátoru je odvodnit přiváděné kaly na formu dopravitelnou pásovými dopravníky. Jelikož se jedná o hlušinu a odpad technologického procesu, tak nejsou kladeny přesné požadavky na výstupní vlhkost odvodněného produktu. Dle provozních zkušeností se obsah v odvodněném produktu pohybuje v rozsahu 30–45 %, v závislosti na zrnitostním složení produktu. Přívod materiálu o zrnitosti 0–1 mm je značený zelenou barvou a přes potrubí je přiváděn do nádrže, připomínající kvádr, kde je uvnitř vytvořen přepad pro rovnoměrný přívod materiálu na třídící plochu. K třídění dochází ihned po dopadu materiálu na zadní část síta. Materiál následně stéká po zadní části šterbinového síta, které je uloženo pod úhlem 40°. Modrá barva na Obr. č. 11.1 značí tok propadlé suspenze, která je tvořena suspenzí černého uhlí o zrnitosti 0–0,25 mm a vody. Červená barva značí výšku materiálu a její postup třídící plochou, kde na konci nabývá zrnitosti 0,25–1 mm dle požadavku. Velikost odvodnění závisí na sklonu třídící plochy a variantě použitých pojistných klínů. Pokud však toto odvodnění není dostačující, dají se upevnit L-profily na třídící plochu k dodatečnému zpomalení postupu materiálu. Pokud by i tato metoda nebyla dostačující, dá se ke stroji připojit frekvenční měnič, pomocí kterého se bude korigovat postupová rychlost materiálu. Nutností je vyvarování se rezonančním frekvencím stroje. Frekvenci vibromotorů lze snižovat až na 30 % jejich nominální frekvence. Pod touto hodnotou se vibromotory nejsou schopny synchronizovat.



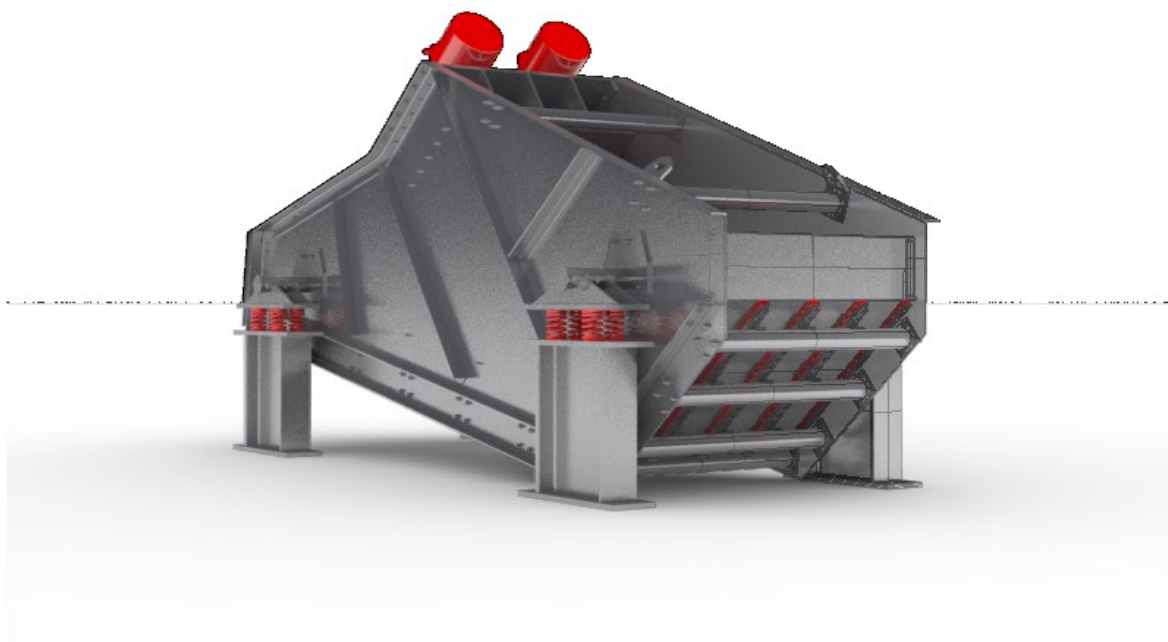
Obr. č. 11.1 Schéma postupu materiálu

12 Vizualizace

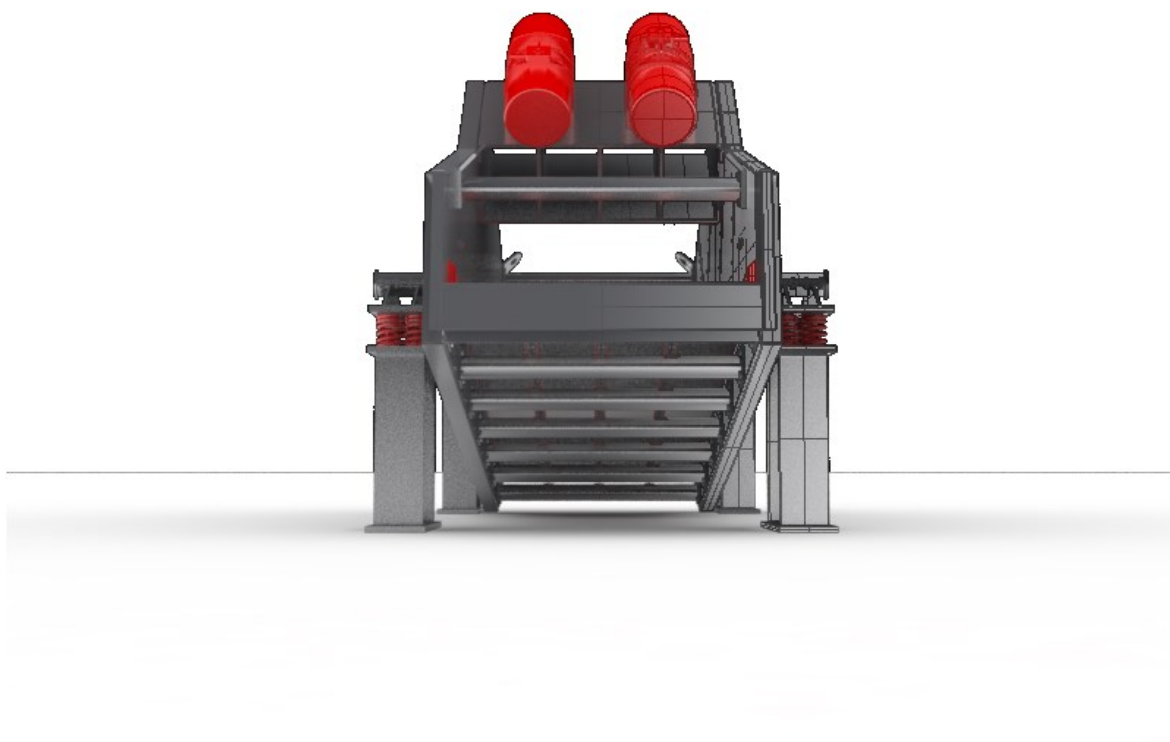
Jednotlivé vizualizace byly provedeny v prostřední Rhinoceros 5.0 dále jen Rhino se zásuvným modulem V-Ray. Model, jak již bylo dříve zmíněno, byl vymodelován a konstruován v prostřední Inventor ze kterého byl exportován ve formě stepu pro Rhino. V tomto prostřední musel být step soubor kompletně rozdělen na jednotlivé plochy a znovu sloučen do skupin, aby bylo možné daným plochám přiřadit materiál pro vizualizaci. Přibližný počet ploch tvořící model se pohyboval okolo půl milionu. Drtivou většinu tvořila šterbinová síta. Každé součásti byl přiřazen materiál představující nerezovou ocel. Tvorba materiálu probíhala v prostředí zásuvného modulu V-Ray, kde se materiálu přiřadila textura a jednotlivé vrstvy charakterizující vzhled nerezové oceli. Podobně byl vytvořen materiál připomínající plast. Vizualizace jsou následně upravené v programu Photoshop CS6, kde je prolnuto několik vyrenderovaných vrstev z Rhina. Tyto vizualizace znázorňují přechod mezi samotnou vizualizací a prostředním, ve kterém se vizualizace připravuje. Pro vizualizaci byla nepatrně prodloužena pouze délka nohou pro vibrační dehydrátor. Tato změna byla provedena kvůli nejnižší části vibračního dehydrátoru, která se nacházela pod úrovní nohou, a tudíž by model nebyl adekvátně prezentován. Stroj je ve skutečnosti přikotven na rámové konstrukci, která není součástí řešení.



Obr. č. 12.1 3D vizualizace perspektivy zepředu Rhino V-Ray



Obr. č. 12.2 3D vizualizace perspektivy zezadu Rhino V-Ray



Obr. č. 12.3 3D vizualizace pohledu zepředu Rhino V-Ray

13 Závěr

Cílem této diplomové práce bylo provést rešerši současného stavu vibračních třídíčů a navrhnout konstrukci vibračního dehydrátoru pro třídění černého uhlí. Vibrační dehydrátor by měl mít zvýšenou třídící plochu a dodržet úhly uložení šterbinových sít dle požadavků, disponoval snadnou vizuální kontrolou, jednoduchou údržbou, byl variabilní s manipulovatelností s úhlem natočení a tím zpomalování dopravovaného materiálu. Aby se dal umístit na místo jeho předchůdce z roku 2008 na úpravně ČSM.

Všechny tyto výše zmíněné cíle byly v průběhu řešení diplomové práce splněny. V úvodu byl představen aktuální trh vibračních třídíčů, které byly rozděleny do základních tří kategorií, podle způsobu třídění, počtu ploch a pohybu konstrukce. Následoval návrh třídící plochy, kde bylo docíleno celkového zvýšení třídící plochy až o 26,73 %. Snadná výměna třídících segmentů byla zajištěna pojistnými klíny, které se velmi snadno instalují pomocí gumového kladiva. Vizuální kontroly je docíleno odhalením zadní části vibračního dehydrátoru, kde obsluha může snadno vidět, zda třídící plocha není poškozená nebo nepropouští materiál. Nohy vibračního dehydrátoru umožňují variabilitu naklonění třídící plochy o 0–10°. Vibromotory byly navrženy tak, aby docílily dostatečné postupové rychlosti materiálu. S touto rychlostí je stroj schopný s přehledem odvodnit požadované dopravované množství. Společně s vibromotory byly navrženy pružiny tak, aby odolaly celkovému zatížení stroje. Při výběru způsobu uložení konstrukce jsem uvažoval o dvou variantách (tlačné pružiny a vibrační jednotky firmy ROSTA). Spolupráci s firmou ROSTA jsem vyloučil, kvůli úpravě ocelové konstrukce na úpravně ČSM, přestože tento způsob uložení zajišťuje vyšší spolehlivost a nižší přenos vibrací do základových konstrukcí. Z ekonomického hlediska jsem zvolil celkem šestnáct tlačných pružin, vzhledem k aktuální nabídce na trhu. Další důležitou součástí vibračního dehydrátoru jsou bočnice, které byly vyztuženy L-profilů, aby odolaly vysokým vibračním budičce. Pro navržený dehydrátor není nutné navrhovat brzdění. Pozvolným dojezdem přechází přes rezonanční kmity. Vzhledem k tomu, že je uložen na tlačných pružinách, tak pro něj nejsou tyto rezonanční kmity obtíží.

V rámci diplomové práce jsem provedl nutné výpočty, jako je: zatížení třídící plochy materiálem, procentuální zvětšení třídící plochy, výpočet ideálního vibračního budiče kmitu, výpočet ideální pružiny a výpočet vlastní frekvence stroje.

Tato práce mi nabídla pohled do dnešního světa zpracovávání a úpravy vytěžených materiálů z povrchových a hlubinných dolů. Poznání, pro mne nových konstrukčních technologií, prostředků a způsobů třídění materiálů.

Významným přínosem pro mne bylo vypracování této diplomové práce ve spolupráci s firmou RPS Ostrava a.s.

14 Seznam zdrojů a literatury

- [1] *DSP Přerov* [online]. [cit. 2019-02-13]. Dostupné z:
<http://www.dspprerov.cz/nase-vyrobky/tridice/vibracni-hrubotridice-vgo.html>
- [2] *IFE* [online]. [cit. 2019-02-13]. Dostupné z:
<https://www.ife-bulk.com/en/screening-technology/scalper-screen.html>
- [3] *IFE* [online]. [cit. 2019-02-13]. Dostupné z:
<https://www.ife-bulk.com/en/screening-technology/flip-flop-screen-trisomat.html>
- [4] *IFE* [online]. [cit. 2019-02-13]. Dostupné z:
<https://www.ife-bulk.com/en/screening-technology/dewatering-screen.html>
- [5] *IFE* [online]. [cit. 2019-02-13]. Dostupné z:
<https://www.ife-bulk.com/en/screening-technology/underwater-screen.html>
- [6] *DSP Přerov* [online]. [cit. 2019-02-14]. Dostupné z:
<http://www.dspprerov.cz/nase-vyrobky/tridice/vibracni-tridice-vtk.html>
- [7] *Binder+Co* [online]. [cit. 2019-02-15]. Dostupné z:
<https://www.binder-co.com/1112/Circular-Motion-Vibrating-Screens>
- [8] *DSP Přerov* [online]. [cit. 2019-02-15]. Dostupné z:
<http://www.dspprerov.cz/nase-vyrobky/tridice/vibracni-tridice-vte.html>
- [9] *DSP Přerov* [online]. [cit. 2019-02-16]. Dostupné z:
<http://www.dspprerov.cz/nase-vyrobky/tridice/vibracni-tridice-vts.html>
- [10] *IFE* [online]. [cit. 2019-02-16]. Dostupné z:
<https://www.ife-bulk.com/en/screening-technology/linear-motion-vibrating-screen.html>
- [11] *Binder+Co* [online]. [cit. 2019-02-16]. Dostupné z:
<https://www.binder-co.com/1118/Linear-Motion-Vibrating-Screens>
- [12] *IFE* [online]. [cit. 2019-02-16]. Dostupné z:
<https://www.ife-bulk.com/en/screening-technology/hard-particle-separator-and-destoner.html>
- [13] *IFE* [online]. [cit. 2019-02-16]. Dostupné z:
<https://www.ife-bulk.com/en/screening-technology/sizer.html>
- [14] *IFE* [online]. [cit. 2019-02-16]. Dostupné z:
<https://www.ife-bulk.com/en/screening-technology/banana-screen.html>
- [15] *IFE* [online]. [cit. 2019-02-16]. Dostupné z:
<https://www.ife-bulk.com/en/screening-technology/ife-sort.html>
- [16] *VENPRO* [online]. [cit. 2019-02-18]. Dostupné z:
<http://www.venpro-cz.cz/sterbinova-sita/>

- [17] *VYPOCITEJTO* [online]. [cit. 2019-02-18]. Dostupné z: <https://www.vypocitejto.cz/obsah-obvod/trojuhelnik.html>
- [18] *IFE* [online]. [cit. 2019-02-18]. Dostupné z: <https://www.ife-bulk.com/en/conveyor-technology/vibrating-feeder-with-unbalanced-drive.html>
- [19] *RHEWUM* [online]. [cit. 2019-02-18]. Dostupné z: <https://www.rhewum.com/en/products/wet-screening-machines/rhewum-es-en.html>
- [20] *Indiamart* [online]. [cit. 2019-02-18]. Dostupné z: <https://www.indiamart.com/proddetail/dewatering-screen-10640983412.html>
- [21] *Webac-Vibro* [online]. [cit. 2019-03-11]. Dostupné z: <https://www.webac-vibro.com/elektricke-vibromotory/rada-vo-va-vf/>
- [22] *PK SERVIS* [online]. [cit. 2019-03-11]. Dostupné z: http://www.pksevis.com/data/web/upload/29_hennlich/katalog-pruziny-hennlich.pdf
- [23] *ACXESSPRING* [online]. [cit. 2019-03-11]. Dostupné z: https://www.thespringstore.com/pc625-4000-6750-mw-6250-cg-n-in.html?unit_measure=me&fbclid=IwAR0wQ5NSBCs4rWeHkP4elQ5v62l-95UCRUZ68sQyXrq7hLOqCwHxFr21WIo
- [25] PATRMAN, František. *Doprava v hutích*. Ostrava: Ediční středisko VŠB, 1970.
- [26] POLÁK, Jaromír, Karel BAILOTTI, Jiří PAVLIŠKA a Leopold HRABOVSKÝ. *Dopravní a manipulační zařízení II*. 1. vyd. Ostrava: VŠB - Technická univerzita Ostrava, 2003, 104 s. ISBN 80-248-0493-X.
- [27] PEŠAT, Zdeněk. *Manipulace s materiálem v hutích: určeno pro posl. 4. roč. fak. strojní*. 1. vyd. Ostrava: Vysoká škola báňská, 1992, 165 s. ISBN 80-707-8107-6.
- [28] LEINVEBER, Jan a Pavel VÁVRA. *Strojnické tabulky: pomocná učebnice pro školy technického zaměření*. 5., upr. vyd. Úvaly: Albra, 2011. ISBN 978-80-7361-081-4
- [29] KALÁB, Květoslav a Milena HRUDIČKOVÁ. *Části a mechanismy strojů pro bakaláře: návody do cvičení*. 1. vyd. Ostrava: VŠB - Technická univerzita Ostrava, 2007. ISBN 978- 80248-1290-8
- [30] DEJL, Zdeněk a Milena HRUDIČKOVÁ. *Konstrukce strojů a zařízení I: spojovací části strojů. Návrh, výpočet, konstrukce*. 1. vyd. Ostrava: Montanex, 2000. ISBN 80-722-5018-3
- [31] NĚMČEK, Miloš a Milena HRUDIČKOVÁ. *Řešené příklady z částí a mechanismů strojů: spoje*. 2. vyd. Ostrava: VŠB - Technická univerzita Ostrava, 2008, 111 s. ISBN 978-80-248-1782-8.
- [32] MARTÍNEK, Petr. *Transportní zařízení: Řešené příklady: Určeno pro posl. 4. roč. FS*. 1. vyd. Ostrava: Vysoká škola báňská, 1993, 109 s. ISBN 80-707-8165-3.

Seznam obrázků

Obr. č. 1.1 Analýza typů třídících a odvodňovacích strojů.....	13
Obr. č. 3.1 3D model Hrubotřídíče VGO [1]	16
Obr. č. 3.2 Detail Hrubotřídíče VGO [1]	16
Obr. č. 3.3 3D model Hrubotřídíče Scalper [2].....	17
Obr. č. 3.4 3D model třídíče flip-flop [3].....	18
Obr. č. 3.5 3D model odvodňovacího třídíče [4]	19
Obr. č. 3.6 3D model podvodního třídíče [5]	20
Obr. č. 3.7 3D model třídíče VTK [7].....	21
Obr. č. 3.8 Třídíč VTE [8].....	22
Obr. č. 3.9 Třídíč VTE zavěšený [8]	22
Obr. č. 3.10 Třídíč VTS [9].....	23
Obr. č. 3.11 Třídíč s přímočarým pohybem [11]	24
Obr. č. 3.12 3D model separátoru těžkých pevných částic a rozdružovače kamene [12]	25
Obr. č. 3.13 3D model vibračního třídíče Sizer [13].....	26
Obr. č. 3.14 3D model vibračního třídíče Banana [14]	27
Obr. č. 3.15 3D model vibračního třídíče IFE-SORT [15]	28
Obr. č. 4.1 Aktuální řešení na úpravně ČSM	29
Obr. č. 4.2 Foto vibračního dehydrátoru na úpravně ČSM	30
Obr. č. 4.3 Foto vibračního dehydrátoru na úpravně ČSM.....	30
Obr. č. 4.4 Foto šterbinových segmentů dehydrátoru na úpravně ČSM	31
Obr. č. 4.5 Foto nosníků pro podporu a uložení šterbinových segmentů na úpravně ČSM	31
Obr. č. 5.1 Graf křivky zrnitosti	33
Obr. č. 5.2 Detail šterbinového síta [16]	34
Obr. č. 5.3 Detail šterbinového síta pro válcové třídění [16]	34
Obr. č. 5.4 Katalogové hodnoty VENPRO [16].....	35
Obr. č. 5.5 Vizualizace šterbinového síta Rhino V-Ray.....	35
Obr. č. 5.6 Vizualizace pojistných klínů Rhino V-Ray	36
Obr. č. 5.7 Schéma varianty č. 1	36
Obr. č. 5.8 Schéma varianty č. 2	37

Obr. č. 6.1 Graf vzoru pro výpočtovou část	40
Obr. č. 6.2 Graf šikmého vrhu.....	43
Obr. č. 6.3 Graf šikmého vrhu proloženého funkcí sinus	44
Obr. č. 7.1 Boční uložení vibromotorů.....	47
Obr. č. 7.2 Uložení vibromotorů vedle sebe	47
Obr. č. 7.3 3D model uložení vibromotoru z boku [18].....	48
Obr. č. 7.4 Horní uložení vibromotorů varianta č. 1 [19]	48
Obr. č. 7.5 Horní uložení vibromotorů varianta č. 2 [20]	48
Obr. č. 7.6 Těžiště stroje	49
Obr. č. 8.1 Vizualizace vibromotoru Rhino V-Ray	49
Obr. č. 9.1 Vizualizace pružiny Rhino V-Ray.....	51
Obr. č. 9.2 Schéma pružiny [22]	51
Obr. č. 10.1 Zjednodušení 3D modelu	55
Obr. č. 10.2 Tenkostěnná konstrukce	55
Obr. č. 10.3 Detail uložení pružin	56
Obr. č. 10.4 Příklad zavazbení bočnice a výztuhy	56
Obr. č. 11.1 Schéma postupu materiálu	58
Obr. č. 12.1 3D vizualizace perspektivy zepředu Rhino V-Ray.....	59
Obr. č. 12.2 3D vizualizace perspektivy zezadu Rhino V-Ray	59
Obr. č. 12.3 3D vizualizace pohledu zepředu Rhino V-Ray	60

Seznam tabulek

Tabulka č. 1 Zrnitostní rozbor.....	32
Tabulka č. 2 Katalogové hodnoty vibromotoru [21].....	49
Tabulka č. 3 Tabulka hodnot pružiny [23]	51

Seznam použitých programů

- [33] Rhinoceros 5.0, Renderovací modul V-Ray
- [34] Adobe Photoshop CS6
- [35] Adobe Illustrator CS6
- [36] Autodesk AutoCAD 2018
- [37] Autodesk Inventor Professional 2018
- [38] ANSYS Workbench 19.1

Seznam příloh

- [39] Dokumentační CD
- [40] Výkresová dokumentace 1xA0
- [41] Výkresová dokumentace 1xA3